



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO SEGÚN TIPOLOGÍA DEL SUELO DE LOS  
BARRIOS MEMORIAL SANDINO, JOCOTE DULCE, HIALEAH ETAPAS II Y III  
UTILIZANDO EL MÉTODO DE LOSAS CORTAS.**

Para optar al título de ingeniero civil

**Elaborado por**

Br. Mario Ernesto Galo Miranda  
Br. Edwin Francisco Pérez Ordóñez

**Tutor**

Ing. Israel Morales

**Asesor**

Ing. Jennyfer Berenice Villanueva Ortiz

Managua, Febrero 2016

# CONTENIDO

<b>1. GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4. OBJETIVOS .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>6</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. ESTUDIO DE TRÁNSITO.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.1. TRÁNSITO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.2. COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.3. VOLUMEN DE TRÁNSITO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.4. FACTOR DE AJUSTE A 24 HORAS .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.5. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS).....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.6. DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL A PARTIR DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.7. DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO (TD) .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.8. CÁLCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES DE CARGA (ESAL's) .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2. ESTUDIOS DE SUELOS .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.1. ESTUDIO EXPLORATORIO .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.2. TRABAJOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.3. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.4. MATERIALES DE BANCOS.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....</b>	<b>11</b>

2.3.1.	DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO .....	12
2.3.2.	DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO DE LA AASHTO 98.....	13
2.3.3.	ANÁLISIS DE LA LOSA POR EL MÉTODO AASHTO Y LOSAS CORTAS UTILIZANDO EL SOFTWARE NYSLAB .....	16
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	18
4.	VISITA TÉCNICA DE LOS SITIOS .....	21
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	21
5.	ESTUDIO DE TRÁNSITO.....	22
5.1.	CONTEO VEHICULAR.....	22
5.2.	FACTOR DE AJUSTE DE 12 A 24 HORAS.....	22
5.3.	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL .....	23
5.4.	DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL A PARTIR DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL .....	25
5.5.	DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO (TD).....	29
5.5.1.	FACTOR DE CRECIMIENTO ANUAL (FAC) .....	29
5.5.2.	FACTOR DIRECCIÓN .....	32
5.5.3.	FACTOR CARRIL.....	32
5.6.	CÁLCULO DEL ESAL'S DE DISEÑO.....	33
6.	ESTUDIOS DE SUELOS.....	35
6.1.	ESTUDIO EXPLORATORIO (SONDEO MANUALES) .....	35
6.2.	TRABAJOS DE LABORATORIO.....	36
6.3.	MATERIALES DE BANCOS .....	36
6.4.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	37
7.	DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO .....	38
7.1.	DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....	38

7.1.1.	C.B.R. DE DISEÑO .....	40
7.1.2.	MÓDULO DE REACCIÓN DE LA BASE Y SUBRASANTE.....	42
7.2.	DISEÑO POR EL MÉTODO DE LA AASHTO 98 .....	44
7.2.1.	MÓDULO DE REACCIÓN COMPUESTO ( $K_c$ ). .....	44
7.2.2.	DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DE LA BASE .....	45
7.2.3.	SERVICIABILIDAD .....	45
7.2.4.	MÓDULO DE RUPTURA DEL CONCRETO ( $S'_c$ ).....	46
7.2.5.	MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN ( $E_c$ ) .....	46
7.2.6.	MÓDULO POISSON .....	47
7.2.7.	COEFICIENTE DE FRICCIÓN .....	47
7.2.8.	CONFIABILIDAD ( $R$ ) .....	48
7.2.9.	DESVIACIÓN NORMAL ESTÁNDAR ( $Z_r$ ).....	48
7.2.10.	ERROR ESTÁNDAR COMBINADO ( $S_o$ ) .....	48
7.2.11.	FACTOR DE AJUSTE DE SOPORTE DE BORDE ( $E$ ) .....	49
7.2.12.	CLIMA .....	49
7.2.13.	RESUMEN DE VARIABLES REQUERIDAS .....	50
7.2.14.	RESULTADOS DE DISEÑO AASHTO 98 .....	50
7.2.15.	DIMENSIONES DE LAS LOSAS .....	50
7.3.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y OPTIMIZACIÓN DE ESPESOR DE LA LOSA POR EL MÉTODO DE LOSAS CORTAS CON AYUDA DEL SOFTWARE NYSLAB .....	53
7.3.1.	MATERIAL.....	53
7.3.2.	LOSA .....	55
7.3.3.	JUNTAS .....	56
7.3.4.	CARGAS.....	57
7.3.5.	ANÁLISIS.....	57

7.3.6. LIMITACIONES.....	60
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
8.1. CONCLUSIONES .....	62
8.2. RECOMENDACIONES.....	65
BIBLIOGRAFÍA .....	67
ANEXOS.....	i
ANEXO A: TABLAS PARAMÉTRICAS.....	i
TABLAS .....	i
ANEXO B: VISITA TÉCNICA DE LOS SITIOS.....	x
FIGURAS.....	x
ANEXO C: ESTUDIO DE TRÁNSITO.....	xiv
TABLAS .....	xiv
ANEXO D: ESTUDIOS DE SUELOS .....	xxi
TABLAS .....	xxi
ANEXO E: DISEÑO DE PAVIMENTO .....	xxvi
TABLAS .....	xxvi
FIGURAS.....	xxxii

## **RESUMEN**

El diseño de pavimento rígido utilizando el método de Losas Cortas, es conocido como Método Mecánico-Empírico. Éste, ha creado un impacto positivo en la resolución de problemas del desempeño de la estructura de pavimento.

En el capítulo I, se presentan los aspectos generales entorno a la situación actual de los tramos a diseñar: introducción, justificación, objetivos y antecedentes a abordar.

El capítulo II, engloba todo lo concerniente a la teoría y conceptos generales de las áreas aplicadas durante el desarrollo de la investigación: estudios de tránsito, estudios de suelos y diseño de pavimento.

En el capítulo III, se aborda el diseño metodológico en el cual se apoyó el presente trabajo. Asimismo, se describe brevemente cada uno de los pasos a que se llevaron a cabo para la obtención de los resultados.

El capítulo IV, está destinado a la visita técnica de los 4 tramos, y la descripción geométrica de cada uno, así como su entorno en sus extremos.

En el capítulo V, se presenta todo lo relacionado al estudio de tráfico: conteo vehicular, y cálculos pertinentes para la obtención del tránsito de diseño y sus ejes de equivalencia de carga.

El capítulo VI, abarca la etapa de los estudios de suelos, trabajos de campo, laboratorio y los resultados obtenidos de las muestras identificadas en los sondeos manuales.

El capítulo VII comprende la definición de la estructura de pavimento, según la calidad de suelo resultante de los ensayos de laboratorio. También se refleja el

diseño del espesor de pavimento mediante el método convencional y su optimización con losas cortas con el programa NYSLAB.

En el capítulo VIII se exponen las conclusiones a cerca de los resultados obtenidos, y las recomendaciones que se deben de tomar en consideración, para el buen funcionamiento de los tramos a pavimentar.

La finalidad de este documento es diseñar espesor de pavimento rígido en los cuatro tramos mediante el método de losas cortas que sea el óptimo para responder a las cargas a la que es sometida apoyado a la resistencia de suelo presente.

# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1.INTRODUCCIÓN**

El mejoramiento vial tanto en Nicaragua como en otros países de América ha estado en constante evolución. Esto se concretiza en la utilización de materiales más duraderos, resistentes a todo tipo de carga y cuyo mantenimiento sea más económico.

El pavimento rígido es más efectivo en cuanto a su durabilidad con respecto a los otros tipos de pavimento. Sin embargo, debido a su alto costo de construcción se han venido experimentando nuevos métodos para reducir las dimensiones respondiendo a las demandas de mayor rendimiento, por lo que se ha implementado el método de losas cortas. Este, ha obtenido un gran auge por la efectividad que representa en la optimización de las losas, partiendo desde Chile llegando hasta países centroamericanos como Nicaragua.

La importancia de este trabajo monográfico radica en la interacción de la losa con las distintas variables porque son factores determinantes al momento de diseñar un pavimento. Entre esas variables se destacan: la capacidad soporte de suelo, los ejes equivalentes de carga y el alabeo que se produce por la diferencia de temperatura que experimentan los perfiles superiores e inferiores de las losas, a diferentes horas del día.

Existen programas que facilitan el cálculo de los esfuerzos que producen estas variables, tomándolas en consideración. Cada uno de estos aspectos contribuye en la optimización del espesor del pavimento sobre los métodos convencionales.

El propósito de este trabajo es diseñar un espesor de pavimento de concreto hidráulico para los tramos objeto de estudio, pertenecientes a las comunidades de: Jocote Dulce (247.6m), Memorial Sandino (170.3m) y Hialeah Etapas II (240.5m)



y III (276.5m), ubicados en el Distrito 1 de Managua. Estos sitios, tienen en común, que algunas de sus calles no están pavimentadas. A consecuencia de ello, estas comarcas requieren de un mejoramiento vial, pues a medida que aumenta el crecimiento poblacional, incrementa la demanda de utilización de estas vías para comunicarse con las comunidades vecinas.

Durante la estación seca, debido a factores como el viento, se producen polvaredas, afectando a la población que podrían ocasionar enfermedades respiratorias. Asimismo, durante la estación lluviosa, se dificulta el tránsito vial y peatonal, poniendo en riesgo la vida de los pobladores que hacen uso de estas vías para llegar a su vivienda.

El caso más severo a tratarse es en Jocote Dulce, debido a que la calle a frecuentar es conocida como una calle-cauce, cuya situación actual es crítica, poniendo en riesgo a la población cuando las lluvias son abundantes. Otro factor preocupante es la presencia de árboles que se encuentran con raíces bastante superficiales, a lo largo del borde de todo el trayecto.

En los casos de Memorial Sandino, Hialeah II y III, las calles cuentan con la presencia de casas a ambos lados, que durante el invierno se inundan por la irregularidad del terreno y por la libre circulación del agua en estos trechos. En ciertos casos, se anegan algunas viviendas que se encuentran al mismo nivel del terreno natural.

## 1.2. ANTECEDENTES

A lo largo de los años, la evolución de la ingeniería ha traído consecuencias positivas en cuanto al área vial, entre ellos el diseño de pavimento. En Managua, todavía existen calles de pavimentos de concreto con más de 25 años, las cuales no han requerido mantenimiento, como es el tramo que va desde los semáforos de la Ceibita a los semáforos de Linda Vista.

El estudio de losas cortas tuvo su origen en Estados Unidos, cuando empezó a emplearse el método constructivo Whitetopping. Este consistía en aplicar una capa de concreto hidráulico sobre una de pavimento asfáltico deteriorado o de losas de concreto. Debido al alto costo que este representaba, se optó por investigar nuevos métodos para compensar esta desventaja.

Es pertinente mencionar que en el 2013 se realizó una tesis de maestría en vías terrestres titulada: *Metodología de Diseño Mecánico – Empírico para Pavimentos de Concreto y su aplicación constructiva en Nicaragua* de la ing. Villanueva, en la que se efectuó un estudio acerca de la optimización de losas con este método. En el mismo, se concluyó que se puede reducir el espesor de pavimento hasta en un 40% con respecto al obtenido por medio de la norma AASHTO 98, destacando la reducción de costos de construcción.

La Alcaldía de Managua ha venido ejecutando el programa de “calles para el pueblo”, entre los cuales se pueden mencionar: en septiembre de 2011, la construcción de 600 metros lineales de concreto hidráulico en la II etapa de Hialeah; en el año 2012, se pavimentaron 2 km de calle a base de concreto hidráulico en la III etapa de Hialeah, beneficiando directamente a más de 2,600 pobladores de ese sector. Recientemente, en el año 2014, la alcaldía inauguró más de 150 metros cuadrados de concreto hidráulico en la comarca Jocote Dulce.

El uso de la tecnología de losas cortas en pavimento de concreto hidráulico ha tenido mayor auge en Panamá, así como Chile, Perú y Guatemala. En el año 2011, en Nicaragua, se construyeron 17 kilómetros de carretera con el sistema de Losas Cortas, que se extiende del empalme de Puerto Sandino al puente La Gloria, en el departamento de León, vía por la cual transita cada dos minutos una cisterna con seis mil galones de petróleo. Además, se han construido 13 Km aproximadamente de vías urbanas, con el mismo sistema, dentro del programa social del gobierno “Calles para el Pueblo”.

Otros proyectos realizados con el método de losas cortas son: Mejoramiento de seis tramos de la carretera Río Blanco – Puerto Cabezas; Circunvalación Masaya; Pista Cardenal Miguel Obando y Bravo; Empalme Nejapa – Empalme Puerto Sandino; pavimentación en el puesto fronterizo sur Peñas Blancas y recientemente la Circunvalación de León (información obtenida por la base de datos del Ministerio de Transporte e infraestructura).

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

El crecimiento del parque vehicular ha aumentado considerablemente en los últimos años. Ante esta situación, se presentada la necesidad a mayor escala de calles pavimentadas, como parte de los requerimientos básicos para el desarrollo de las comunidades. En este sentido, los gobiernos municipales han implementado el proyecto de “Calles para el pueblo”, cuyo objetivo es atender las demandas y obras de conectividad urbana e interurbana.

Tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, se han aplicado nuevas técnicas en la elaboración de carpeta de rodamiento, que resultan más factibles y menos costosas. Entre las nuevas técnicas de diseño de pavimento rígido, el más reciente es el método de losas cortas (o método mecánico empírico), el cual se aborda en este trabajo monográfico.

La relevancia de este tema radica en la implementación del diseño de la estructura de pavimento rígido. El uso de este tipo de pavimento, a pesar de su costo, es por la durabilidad que ofrece y por ende no se tendría que estar dando mantenimiento. Además de formar parte de la política de esta institución del uso del concreto hidráulico, definido en las especificaciones del Proyecto de “Calles para el Pueblo”, que pretende realizar en las comunidades de: Jocote Dulce, Memorial Sandino y Hialeah etapas II y III.

El método de losas cortas se utiliza en pavimento rígido, el cual posee las siguientes ventajas: más durabilidad, mayor resistencia a cargas, permite ubicar luminarias más separadas entre sí, no reblandece a temperaturas altas como el asfalto, mejora la fluidez de las escorrentías, representa menores costos en cuanto a su construcción, su vida útil es de 20 años o más, mejora la visibilidad nocturna, no retiene calor como el Pavimento asfáltico.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Diseñar la estructura de Pavimento rígido según la tipología del suelo, implementando el método de losas cortas para la determinación del espesor óptimo.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Determinar la circulación vehicular a través de conteo de tránsito para el establecimiento de cargas que actuarán sobre el pavimento en el tiempo de diseño.
- ✓ Clasificar los sondeos de línea extraídos en las cuatro zonas mediante ensayos de laboratorios para el análisis de la calidad del suelo.
- ✓ Establecer el espesor de la estructura de pavimento por medio del método de diseño convencional de la AASHTO 98, comparándolo con el método de losas cortas, destacando las ventajas de este último para su aplicación en futuros proyectos.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ESTUDIO DE TRÁNSITO**

##### **2.1.1. TRÁNSITO**

Es uno de los factores que más influyen en el comportamiento del pavimento, donde se definen los efectos que causan las cargas del volumen vehicular, que circulan en la vía y cuyos pesos respectivos están definidos por el Ministerio de Transporte e Infraestructura en su manual de guía de pavimentos.

##### **2.1.2. COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO**

Es la relación entre el volumen de tránsito por cada tipo de vehículo en función del volumen global, que pasan en un tramo de carretera, expresado en porcentaje. Se requiere de un estudio de volumen de tránsito, los cuales pueden ser a gran escala o en un punto específico, tales como intersecciones, puentes, etc.

##### **2.1.3. VOLUMEN DE TRÁNSITO**

El volumen de tránsito es el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal de un carril o de una calzada, durante un período determinado de tiempo.

##### **2.1.4. FACTOR DE AJUSTE A 24 HORAS**

El factor de ajuste es un valor que sirve para calcular un volumen de tránsito ajustado a 24 horas por cada tipo de vehículo. Por ende, se tiene que efectuar un conteo vehicular de un día completo, a fin de obtener este factor.

### **2.1.5. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS)**

Es el número de vehículos que pasan por un lugar determinado durante una semana, dividido entre 7 días.

### **2.1.6. DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL A PARTIR DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL.**

El Tránsito Promedio Diario Anual es el número de vehículos que pasan por un lugar determinado durante un año, dividido entre el número de días. Para obtenerlo, es necesario disponer de un número total de vehículos que circulan a lo largo de un año (ya sea en período determinado, horarios, diarios, semanales o mensuales). Todo este procedimiento, se determina mediante cálculos estadísticos obtenidos del conteo vehicular, tal y como se indica en el texto *Probabilidad y Estadísticas para Ingeniería*, de McClave.

### **2.1.7. DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO (TD)**

El tránsito de diseño se determina mediante los siguientes factores: factor anual de crecimiento y el período en el que se va a diseñar según el tipo de carretera (tabla A.I anexo A), el factor dirección (tabla A.II), y el factor carril (tabla A.III).

### **2.1.8. CÁLCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES DE CARGA (ESAL's)**

Los ESAL's, dependen del tránsito de diseño que circula por la vía, que consiste en transformar el número de ejes que cada vehículo posee en pesos equivalentes de 18 kilo-libras (Kips). A la vez, estos pesos toman en consideración la Serviciabilidad final del tramo en estudio y del espesor inicial con el que se desea diseñar el pavimento. Estos valores se encuentran definidos en la tablas: A.IV, A.V, A.VI, del anexo A, para ejes simples, tándem y tridem respectivamente

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) de Nicaragua, presenta una tabla con las cargas permisibles (a partir del vehículo de carga C2 en tabla A.VII en anexo A), donde se encuentran clasificados los ejes de los diferentes vehículos, con su peso y su respectivo factor de equivalencia. Estos factores de ESAL'S se obtienen mediante interpolaciones, según el eje y peso de cada vehículo. En este método se desprecian las motocicletas por considerar que su carga tiene un efecto poco apreciable en la estructura de pavimento y los vehículos se consideran 100% cargados.

El factor ESAL'S por tipo de vehículo (a partir de los livianos hasta el T3S2) se presenta en la tabla A.VIII en anexo A, donde se encuentran los pesos definidos por el MTI en Toneladas-metro y su conversión a Kilo-libras, el tipo de eje que posee cada vehículo y el factor ESAL por eje.

## **2.2. ESTUDIOS DE SUELOS**

Al tomar en cuenta que existe una gran variedad de suelos, la ingeniería ha desarrollado algunos métodos de clasificación de los mismos. Cada uno de éstos tiene su campo de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentado. En proyectos de carreteras, la más utilizada es la “Especificación estándar para clasificación de suelos y mezclas de suelo agregado para propósitos de clasificación de carreteras”, también conocido como la norma AASHTO en su designación M-145.

### **2.2.1. ESTUDIO EXPLORATORIO**

Toda obra necesita información veraz a cerca de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos presentes en el lugar. Para ello, se recurre a un método de exploración, ya sea: pozo a cielo abierto, sondeos manuales, Ensayes de Penetración Estándar (SPT) o métodos rotativos en roca. En obras de carreteras,



está definido que los sondeos deben efectuarse entre 200 a 500 metros. Ver tabla A.IX en anexo A.

### **2.2.2. TRABAJOS DE LABORATORIO**

Los ensayos de suelos requeridos para un proyecto de carretera son los estandarizados por la normas AASHTO. Estos son los siguientes: Método estándar del análisis del tamaño de partículas de suelos (AASHTO T-88), Límite líquido (AASHTO T-89), Límite plástico e índice de plasticidad (AASHTO T-90), Ensayo próctor modificado (AASHTO T 180), Ensayo del valor relativo soporte o relación de soporte de california (C.B.R.). (AASHTO T 193-63).

### **2.2.3. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO**

De acuerdo con esta designación y con base a su comportamiento, los suelos están clasificados en ocho grupos por los símbolos del A-1 al A-8 (éste último, para los suelos con elevada proporción de material orgánico). Montejo, F. (2001), en su libro *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras* describe de manera breve a cada uno de estos grupos, según las particularidades que poseen.

El método Estándar del Análisis del Tamaño de Partículas de Suelos, la determinación del límite líquido de los suelos, y la determinación del límite plástico e índice de plasticidad de los suelos, son los tres ensayos necesarios para la clasificación de suelos en carreteras según la AASHTO designación M-142. Ver tabla A.X, en anexo A.

### **2.2.4. MATERIALES DE BANCOS**

En todo proyecto, el suelo no siempre es de buena calidad, para ello, se cuenta con materiales alternativos cuyas características cumplen con la calidad deseada. Estos materiales se utilizan para colocar una base con capacidad soporte que supere a las del suelo natural presente.

La base es la capa que se encuentra debajo de un pavimento rígido o flexible. Debido a su proximidad con la superficie, debe poseer alta resistencia a la deformación, para soportar altas presiones vehiculares. Se construye con materiales granulares procesados o estabilizados y, eventualmente con algunos materiales marginales (subproductos industriales o materiales de desechos).

### 2.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

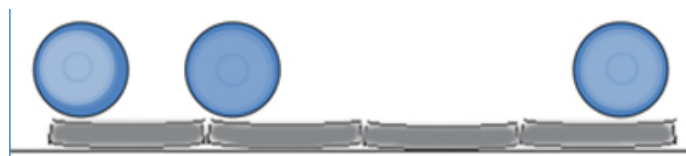
El tamaño de las losas convencionales son del ancho de un carril (de 3.6 metros o menor), y su largo varía entre los 3.3 y 6 metros (AASHTO 1998). Estas dimensiones demuestran que son lo suficientemente extensas para que los tres set de ruedas de un camión C3 produzcan tensiones de tracción sobre la superficie de la losa. Ver figura 2.1.

**Figura 2.1.** Esquema Lateral de Carga del Vehículo Patrón (losa de 6 metros).



El método de losas cortas permite el redimensionamiento de las losas establecidas por la AASHTO, conservando las propiedades del pavimento tradicional, de tal manera que nunca sean cargadas por más de un set de ruedas como lo muestra la Figura 2.2., logrando así disminuir los esfuerzos internos en la misma.

**Figura 2.2.** Esquema Lateral de Carga del Vehículo Patrón (losas cortas).



Esto se logra realizando los pasos a continuación:

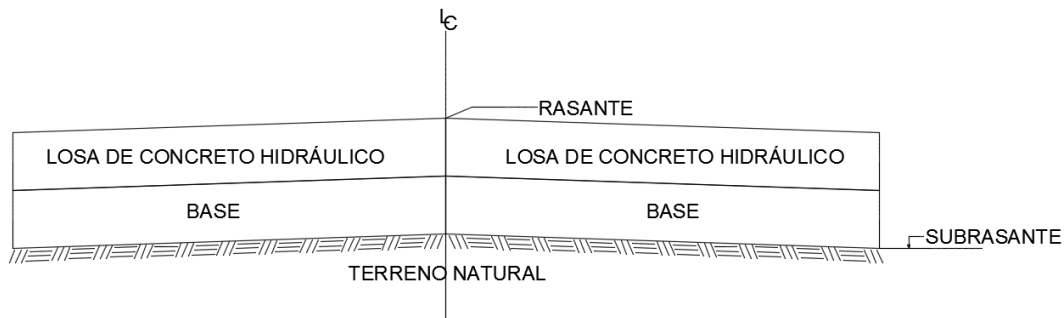
- ✓ Diseñar el espesor por el método AASHTO versión 1998.
- ✓ Implementar el método de losas cortas, optimizando el espesor de la losa por medio del programa New York Slab (NYSLAB) de elementos Finitos.

### 2.3.1. DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

El pavimento es la estructura simple o compuesta que tiene una superficie regularmente alisada destinada a que el paso sobre ésta sea más rápido, confortable y económico en cualquier época del año, para la circulación de personas y vehículos. Su estructura es una combinación de cimiento (base) y revestimiento, colocada sobre un terreno de fundación resistente a las cargas, a los agentes climatológicos y a los efectos abrasivos del tránsito. Mora, S. (2013).

Ver la estructura típica en la figura 2.3.

**Figura 2.3.** Estructura típica del Concreto Hidráulico.



El conjunto de elementos estructurales se les conoce como cimiento, cuya función es transmitir las cargas de elementos apoyados en éste al suelo, distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas en zonas específicas.

La Sub-rasante es “capa de terreno que soporta la estructura de pavimento que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto”, Coronado J. (2002). Una vez realizados los movimientos de tierra correspondientes (cortes y rellenos), se procede a la compactación debiendo cumplir con las secciones transversales y pendientes especificadas.

La rasante es el nivel terminado de la superficie de rodadura. La línea de rasante se ubica en el eje de la vía. Glosario de Términos. (s.a).

### **2.3.2. DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO DE LA AASHTO 98**

En 1998 el Grupo de Trabajo Conjunto sobre Pavimentos - compuesto por miembros de los Subcomités de carreteras en Materiales, Construcción y Mantenimiento, y uno de la Comisión Permanente de Planificación - desarrollaron el Suplemento de la Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, cuya ecuación es:

#### **Ecuación 2.1.**

$$\log W' = \log W + (5.065 - 0.03295 P^{2.4}) \left[ \log \left( \frac{(S'_c)'}{\sigma'_t} \right) - \log \left( \frac{690}{\sigma_t} \right) \right]$$

**W'**: número estimado de ESAL's de 18-kip (80-kN) para el diseño del carril de circulación.

**W**: número estimado de ESAL's de 18-kip (80-kN) calculado de la ecuación mostrada seguidamente:

#### **Ecuación 2.2.**

$$\log W = \log R + \frac{G}{Y}$$

#### **Ecuación 2.3.**

$$\log R = 5.85 + 7.35 \log(D+1) - 4.62 \log(L_1 + L_2) + 3.28 \log L_2$$

**Ecuación 2.4.**

$$Y=1.00+\frac{3.63(L_1+L_2)^{5.2}}{(D+1)^{8.46} L_2^{3.52}}$$

**Ecuación 2.5.**

$$G=\log\left(\frac{P_1-P_2}{P_1-1.5}\right)$$

D: Espesor de la losa de concreto, pulgadas.

L1: Carga en un eje simple o tándem, Kips

L2: Código de eje, 1 para eje sencillo, 2 para eje tándem.

P1: Índice de serviciabilidad inicial.

P2: Índice de serviciabilidad terminal.

(S'c)': Resistencia flexionante media a 28días, por carga en el tercio medio, psi.

$\sigma_t$ : Esfuerzo de tensión de la parte media debido a carga y temperatura de la ecuación siguiente con las constantes de la carretera de prueba de la AASHO.

$\sigma_t'$ : Esfuerzo de tensión de la parte media debido a carga y temperatura de la ecuación 2.6 con las entradas para el diseño de pavimento nuevo.

**Ecuación 2.6.**

$$\sigma_t=\sigma_1 E F \left[ 1.0+ 10^{(\log b)} T D \right]$$

$\sigma_1$ : Esfuerzo de tensión de la parte media debido a la carga únicamente, de la ecuación 2.7.

**Ecuación 2.7.**

$$\sigma_1 = \frac{18,000}{D^2} \left\{ 4.227 - 2.381 \left( \frac{180}{l} \right)^{0.2} - 0.0015 \left[ \frac{E_b H_b}{1.4 k} \right]^{0.5} - 0.155 \left[ H_b \left( \frac{E_b}{E_c} \right)^{0.75} \right]^{0.5} \right\}$$

$E_c$ : Módulo de elasticidad de la losa de concreto, psi

$E_b$ : Módulo de elasticidad de la base, psi

$H_b$ : Espesor de la base, pulgadas

**Ecuación 2.8.**

$$I = \sqrt[4]{\frac{E_c D^3}{12 (1-\mu^2) k}}$$

K: módulo elástico efectivo para la subrasante de soporte, psi/in

$\mu$ : Relación de Poisson para el concreto

E: Factor de ajuste de soporte del eje

F: relación entre el esfuerzo de la losa a un coeficiente de fricción dado (f) entre la losa y la base y el esfuerzo de la losa en fricción total, de la ecuación 2. 9.

**Ecuación 2.9.**

$$F = 1.177 - 4.3 \times 10^{-8} D E_b - 0.01155542 D + 6.27 \times 10^{-7} E_b - 0.000315 f$$

f: coeficiente de fricción entre la losa y la base.

**Ecuación 2.10**

$$\log b = -1.944 + 2.279 \frac{D}{I} + 0.0917 \frac{L}{I} - 433080 \frac{D^2}{kl^4} + \left( \frac{0.0614}{I} \right) * \left( \frac{E_b H_b^{1.5}}{1.4 k} \right)^{0.5} - 438.642 \frac{D^2}{kl^4} - 498240 \frac{D^3 L}{kl^6}$$

L: espacio entre juntas, pulgadas TD: temperatura diferencial efectiva positiva. °F

**Ecuación 2.11.**

$$TD = 0.962 - \frac{52.181}{D} + 0.341 \text{ WIND} + 0.184 \text{ TEMP} - 0.00836 \text{ PRECIP}$$

D: espesor de losa propuesto, pulgadas.

WIND: velocidad media anual del viento, mph.

TEMP: temperatura media anual, °F.

PRECIP: Precipitación media anual, pulgadas.

En el diseño de pavimento rígido de este trabajo, se utiliza una hoja de cálculo elaborada y distribuida por la AASHTO 98. Ésta contiene las variables necesarias para resolver la ecuación del diseño de estructuras de pavimentos rígidos.

- ✓ Determinación del módulo de reacción (k) compuesto.
- ✓ Módulo elástico de la base

- ✓ Serviciabilidad
- ✓ Módulo de ruptura del concreto ( $S'_c$ )
- ✓ Módulo elástico del hormigón ( $E_c$ )
- ✓ Módulo poisson
- ✓ Coeficiente de fricción
- ✓ Confiabilidad ( $r$ )
- ✓ Desviación normal estándar ( $Z_r$ )
- ✓ Error estándar combinado ( $s_o$ )
- ✓ Factor de ajuste de soporte de borde ( $e$ )
- ✓ Clima
- ✓ Dimensiones de las losas
  - Modulación de las losas

### **2.3.3. ANÁLISIS DE LA LOSA POR EL MÉTODO AASHTO Y LOSAS CORTAS UTILIZANDO EL SOFTWARE NYSLAB**

Actualmente, se cuenta con software que facilita el cálculo de esfuerzos a los que se somete una losa, tal es el caso del programa New York Slab (NYSALB), que analiza en base al método de Elementos Finitos (o losas cortas).

El método de elemento finito ha logrado un gran avance en el análisis de los pavimentos rígidos. El último programa de elemento finito es el NYSLAB una herramienta poderosa diseñada para analizar la respuesta del pavimento de hormigón normal y articulado, para distintos tipos de condición de carga, bases y gradientes térmicos.

NYSLAB es un software diseñado para analizar pavimentos de Concreto de Cemento Portland (PCC, por sus siglas en inglés), los cuales están articulados bajo distintos tipos de bases y condiciones de carga. Posee una Interfaz gráfica fácil de usar, permite la introducción de datos, además de un modelo de análisis por elementos finitos integrado que calcula los esfuerzos para

pavimentos rígidos, desarrollados en Matlab ®. Las gráficas de los esfuerzos se pueden visualizar en cualquier punto de la losa.

El programa puede ser usado para los siguientes propósitos:

- ✓ Modelar la respuesta de los sistemas de pavimento rígido, ya sea a partir del peso de la losa de hormigón en sí, bajo cargas de tráfico pesado, o gradientes de temperatura.
- ✓ Historial de respuestas en el tiempo y lugar determinado dentro del pavimento, bajo un eje de referencia en movimiento.

El programa se divide en diferentes pestañas, donde se debe ir introduciendo las variables requeridas para el análisis. Éstas se pueden observar en el Texas, T. U., & Systems, C. f. (2010). *NYSLAB User's Manual*. A continuación se enlistan las pestañas con sus variables:

- ✓ Información
- ✓ Material, Capas, Tipos de bases, Gradiente térmico de construcción, Perfil térmico, Coeficiente de dilatación térmica ( $\alpha$ ), Módulo de ruptura del concreto ( $S'c$ ). Módulo de reacción ( $K$ ) compuesto.
- ✓ Losa: Dimensiones de losas cortas,
- ✓ Juntas
- ✓ Carga
- ✓ Análisis



## CAPÍTULO 3

### DISEÑO METODOLÓGICO

Este documento, según el nivel de profundidad fue **descriptiva**, porque se detallaron los pasos para el diseño de pavimentos rígidos.

Según el tiempo de ocurrencia la investigación fue **prospectiva**, puesto que a medida que se iba investigando se obtuvo información relativa al método de losas cortas, que va a servir para implementarlos en futuros proyectos.

El enfoque de este estudio fue **cuantitativo**, ya que se determinaron las cantidades de material a utilizar por los nuevos espesores calculados con el método de losas cortas (o mecánico-empírico).

El **método deductivo**, se utilizó para abordar los conocimientos relacionados a las estructuras de concreto hidráulico y diseñar con el método de losas cortas.

El **método de análisis**, permitió investigar, seleccionar y procesar la información bibliográfica consultada y confeccionar el marco teórico. Asimismo, se hizo uso de este método para examinar las pruebas de laboratorios de suelos que se utilizaron en el diseño de pavimento.

El **método de síntesis**, contribuyó a redactar las conclusiones en cuanto a la selección del espesor adecuado para el pavimento según el tipo de suelo, así como las conclusiones del Informe Monográfico.

Inicialmente, se utilizó el método convencional de la AASHTO 98 y posteriormente se empleó el **método de losas cortas**, que consiste en el diseño de Mini-losas. Este diseño, permitió disminuir las tensiones en el pavimento, a través de un conjunto de losas, cuyas dimensiones son más pequeñas que las tradicionales. Con esto se consiguió distribuir la carga de manera óptima.

El **área de estudio** con la que se trabajó, se localiza en el Distrito 1 de la ciudad de Managua, en los barrios: Jocote Dulce, Memorial Sandino, Hialeah etapas II y III, sectores que actualmente carecen de calles pavimentadas.

El procedimiento con el cual se desarrolló el presente trabajo se desglosa en 3 etapas principales, las cuales se describen de manera breve en que consistió cada una de ellas:

*Visita técnica de los sitios.*

Se visitaron los tramos objeto de estudio para la toma de fotografías de la condición actual de los niveles de terreno, con respecto al de las entradas a las casas y condiciones económicas presentes.

*Estudio de tránsito:*

En esta fase se realizó el conteo vehicular a fin de calcular el tránsito promedio diario semanal y anual. Se determinó la tasa anual de crecimiento y período de diseño con el fin de obtener el factor anual de crecimiento requerido para calcular el tránsito de diseño. Con ayuda de las tablas de cargas de vehículos y el tránsito de diseño, se procedió a calcular los Ejes equivalentes de carga requeridos para la AASHTO 98.

*Estudios de suelos:*

Esta etapa aborda los trabajos de campo (sondeos manuales), ensayos de laboratorio (granulometría, límites de Atterberg, próctor modificado y Valor relativo Soporte), a las muestras obtenidas en los sondeos.

### *Diseño de espesor de pavimento:*

Esta sección constó de 3 sub etapas: el diseño de pavimento rígido mediante la AASHTO 98 y la optimización de la losa de concreto mediante el programa NYSLAB.

- ✓ Se definió la estructura del pavimento rígido, según la presencia de finos y valor de C.B.R. Se definió la nueva estratigrafía de los suelos con los niveles de subrasante, para luego calcular el módulo de reacción K de los suelos.
- ✓ Para el diseño de pavimento rígido mediante la AASHTO 98 se determinaron todas las variables requeridas para la introducción de estos valores en una hoja Excel configurada por la AASHTO para el cálculo del espesor de la base resultante. Una vez obtenido el espesor de la losa de concreto se definieron las dimensiones de la losa según el ancho de calzada de cada tramo.
- ✓ En la sub etapa de optimización de la losa de concreto mediante el programa NYSLAB se determinaron cada una de las variables requeridas por el programa de elementos finitos NYSLAB, se redujeron las dimensiones de las losas a la mitad de sus largos y anchos para la introducción de éstas en el programa. En el análisis de este programa se observó la influencia de la temperatura y condiciones impuestas a la losa de concreto tales como vehículo de diseño, base utilizada y módulo de reacción.

## **CAPÍTULO 4**

### **VISITA TÉCNICA DE LOS SITIOS**

#### **4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

Los tramos estudiados en esta investigación fueron: Jocote Dulce, Memorial Sandino y Hialeah Etapas II y III, ubicados en el Distrito 1 de Managua. En consecuencia se presentan los aspectos relevantes y descriptivos de cada lugar. Cabe mencionar que las longitudes y anchos de calzada fueron proporcionados por el topógrafo responsable de cada tramo.

El tramo de Jocote Dulce es la continuación, sin pavimentar, de la entrada principal al barrio que conecta al sur con calles de concreto hidráulico, que también sirve de acceso a otro barrio aledaño, llamada Las Viudas. Ver figuras B.I, B.I.I y B.I.II en anexo B. Sus características geométricas son: longitud 247.6 metros, ancho de calzada 6 metros.

El trayecto de Memorial Sandino, tiene forma de “L” cuyo recorrido va en dirección de sur a norte, partiendo de una calle pavimentada desde el sur y está limitada al norte con un cauce natural. Continúa en dirección de oeste a este y empalma con otra calle pavimentada del mismo barrio. Ver figuras B.II, B.II.I y B.II.II en anexo B. Sus características geométricas son: longitud 70 metros y ancho de calzada 7.2 metros (tramo Sur a Norte); y de Este a Oeste, su longitud es de 100.3 metros y ancho de calzada 4 metros.

El tramo de Hialeah II, es una calle interna que conecta con otros dos tramos ya pavimentados. Ver figuras B.III, B.III.I y B.III.II en anexo B. Sus características geométricas son: longitud 240.5 metros, ancho de calzada 4 metros. En la etapa III es un callejón que sirve de acceso a la población de las casas aledañas al tramo. Ver figuras B.IV, B.IV.I y B.IV.II en anexo B. Sus características geométricas son: longitud 276.5 metros, ancho de calzada: 5.6 metros.

## **CAPÍTULO 5**

### **ESTUDIO DE TRÁNSITO**

#### **5.1. CONTEO VEHICULAR**

Se realizó un conteo vehicular de 12 horas con un equipo de apoyo, abarcándose de manera simultánea los cuatro tramos, en horas de 6 de la mañana a 6 de la tarde durante la semana del lunes 12 de julio al domingo 18 de julio de 2015. Los datos levantados de los conteos se ven reflejados en las tablas C.1, C.2, C.3 y C.4 para los tramos Jocote Dulce, Memorial Sandino, Hialeah II y Hialeah III respectivamente. De lo contabilizado anteriormente se constató lo siguiente:

El tipo de vehículo que predomina en cada uno de los barrios son los livianos, esto se debe a que son calles secundarias que sirven de acceso a las personas que habitan en dichos sectores. Globalmente, para los cuatro tramos, se observó que los vehículos pesados con mayor presencia fue el C2 liviano, durante la semana que se realizó el conteo.

#### **5.2. FACTOR DE AJUSTE DE 12 A 24 HORAS**

El factor de ajuste es la relación del volumen vehicular de 24 horas entre el volumen vehicular de 12 horas de un mismo día. Su ecuación es:

**Ecuación 5.1:**

$$\text{Factor}_{\text{ajuste 24hrs}} = \frac{\text{Vol. 24hrs}}{\text{Vol. 12hrs}}$$

Debido a la falta de seguridad en los sectores, se estimó el tránsito nocturno (es decir, de 6:00pm a 6:00am), para un día de la semana en el que se realizó el conteo. Para ello se tomó en cuenta la información proporcionada por los habitantes de los sectores.

En el caso del tramo de Jocote Dulce, el tránsito nocturno se aplicó el día jueves, por lo que se tomó el total de cada vehículo contabilizado ese día (auxiliarse de la tabla C.I en anexo C). Por ejemplo, en este tramo, los autos contabilizados fueron 46, considerando el tránsito nocturno, para las 24 horas, hubo un total de 63. Luego, se procedió a dividir el total de vehículos de 24 horas entre los contabilizados en las 12 horas, dando como resultado un factor de ajuste de 1.37. A continuación se demuestran los cálculos correspondientes a Jocote Dulce, para el caso de los automóviles:

$$\text{Factor de ajuste (automóviles)} = \frac{63 \text{ vehículos}}{46 \text{ vehículos}} = 1.37$$

Calculado este valor, se procedió a determinar el factor de ajuste de cada tipo de vehículo, de todos los tramos, en el día donde se consideró el tránsito nocturno. En la tabla C.V del anexo C, se presentan los totales de vehículos contabilizados durante las 12 horas, el tránsito de 24 horas (incluido el tránsito nocturno considerado), y el factor resultante por medio de los cálculos antes indicados para los cuatro barrios. Cabe mencionar, que como el tránsito tiene un comportamiento similar durante toda la semana, se consideró el factor calculado de cada vehículo aplicable a todos los días de la semana. En la tabla C.VI del anexo C se puede observar el cálculo del tránsito a 24 horas y Tránsito Semanal. A continuación una breve ejemplo de lo antes mencionado con los automóviles (Jocote Dulce):

$$\text{Tránsito Semanal} = 248 * 1.37 = \mathbf{340 \text{ vehículos}}$$

### 5.3. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL

Una vez calculado el tránsito de 24 horas de toda la semana con el factor obtenido de cada vehículo, se procedió a dividirlos entre el número de días que representa la semana, es decir, entre siete. Los resultados obtenidos de esta operación se pueden observar en la tabla C.VII de anexo C. Su expresión es la siguiente:

**Ecuación 5.2:**

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

Donde:

TPDS: Tránsito Promedio Diario Semanal.

TS: Tránsito Semanal

**Ecuación 5.3:**

$$TS = \sum_{i=1}^d TD_i$$

TD: Tránsito Diario.

d: Días de la semana.

A continuación se presenta el cálculo del tránsito Promedio Diario Semanal de los automóviles pertenecientes al tramo de Jocote dulce, utilizando la ecuación 5.2:

$$TPDS_{\text{automóviles}} = \frac{340 \text{ automóviles}}{7 \text{ días}} = 49 \text{ automóviles/días}$$

Con el TPDS de cada vehículo, se procedió a calcular el TPDS global de cada tramo. En Jocote Dulce, la sumatoria de cada tipo de vehículo dio como resultado **185 vehículos**, esto representa el 100% de vehículos. El porcentaje de cada vehículo se calculó dividiendo el TPDS del tipo de vehículo entre el TPDS global. Como ejemplo a desarrollar en Jocote Dulce, en el caso de los automóviles fue:

$$\% \text{ Automóviles} = \frac{49 \text{ vehículos}}{185 \text{ vehículos}} * 100 = 26.5\%$$

#### 5.4. DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL A PARTIR DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL

En el análisis de volúmenes de tránsito, el TPDA se estima con base a la media muestral o Tránsito Promedio Diario Semanal, según la ecuación 5.4. Ésta ecuación, a su vez, está conformada por otras ecuaciones que determinarán los valores requeridos:

##### Ecuación 5.4:

$$TPDA = TPDS \pm A$$

Donde A es la máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS, que se calcula con la siguiente expresión:

##### Ecuación 5.5:

$$A = KE$$

Donde:

K: Número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado.

E: Error estándar de la media.

En la distribución normal, para niveles de confiabilidad del 90% el valor constante K es 1.90. Estadísticamente se ha demostrado que el promedio de diferentes muestras de la misma población se distribuyen normalmente alrededor de la media poblacional, con una *desviación estándar* equivalente al *error estándar (E)*. Por lo tanto, también se puede escribir que  $E = \hat{\sigma}$ .

La desviación estándar poblacional se representa por la letra griega  $\hat{\sigma}$ , que se puede encontrar en la siguiente ecuación:



**Ecuación 5.6:**

$$\hat{\sigma} = \frac{S}{\sqrt{n}} \left[ \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right]$$

Donde:

S: Desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito diario o desviación estándar muestral.

n: Número de días del aforo.

N: Número de días del año.

La desviación estándar muestral (S) se calcula mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 5.7:**

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - TS_{12\text{horas}}/7)^2}{n-1}}$$

Donde:

$T_i$ : Volumen de tránsito del día i.

$TS_{12\text{horas}}$ : Tránsito Semanal de 12 horas.

Estos dos últimos elementos, intervienen en la ecuación 5.8, que representa la sumatoria de la diferencia entre ambas al cuadrado.

**Ecuación 5.8:**

$$\sum_{i=1}^n (T_i - TS_{12\text{horas}}/7)^2$$

En esta etapa se utilizó el conteo realizado de 12 horas. Como primer paso, se realizó la sumatoria de todos los vehículos para obtener el Tránsito de 12 horas ( $T_{12\text{horas}}$ ) por día. Posteriormente, se sumó cada uno de los totales para conseguir el Tránsito Semanal de 12 horas ( $TS_{12\text{horas}}$ ) y calcular el promedio dividiéndolo entre 7. El cálculo del total de vehículos contabilizados para el día domingo (Jocote Dulce) se realizó de la siguiente forma:

$$TD_{12 \text{ horas}}(\text{Domingo}) = 60 + 30 + 10 + 46 + 0 + 2 + 0 + 5 + 8 + 0 = \mathbf{161 \text{ veh\u00edculos}}$$

Este mismo procedimiento se realiz\u00f3 a cada d\u00eda de la semana de cada tramo, los resultados obtenidos se presentan en las tablas C.VIII (Jocote Dulce), C.IX (Memorial Sandino), C.X (Hialeah II) y C.XI (Hialeah III) en anexo C. Luego de haber calculado el total de cada d\u00eda, se procedi\u00f3 a calcular el tr\u00e1nsito diario de 12 horas (auxiliarse de la tabla C.VIII).

$$TS_{12 \text{ horas}} = 161 + 153 + 130 + 139 + 155 + 162 + 137 = \mathbf{1037 \text{ veh\u00edculos}}$$

Una vez calculado los totales por d\u00eda y Semana, se procedi\u00f3 a utilizar la ecuaci\u00f3n 5.8, (siendo **148 veh\u00edculos** promedio), elevado al cuadrado, dando como resultado (para el tramo de Jocote Dulce) un valor de 965, tal y como se puede observar en la tabla C.VIII en anexo C. Este valor se calcul\u00f3 de la siguiente manera:

$$\sum_{i=1}^n (TD_i - TS_{12 \text{ horas}}/7)^2 =$$

$$(161 - 148)^2 + (153 - 148)^2 + (130 - 148)^2 + (139 - 148)^2 + (155 - 148)^2 + (162 - 148)^2 + (137 - 148)^2$$

$$\sum_{i=1}^n (TD_i - TS_{12 \text{ horas}}/7)^2 = 169 + 25 + 324 + 81 + 49 + 196 + 121 = \mathbf{965}$$

Se procedi\u00f3 a calcular la desviaci\u00f3n est\u00e1ndar muestral (S), cuyo resultado fue de 13. Este valor fue obtenido mediante el despeje de la ecuaci\u00f3n 5.8 en la ecuaci\u00f3n 5.7, y cuya variable faltante “n” (siendo este 7), correspondiente a la semana involucrada:

$$S = \sqrt{\frac{965}{6}} = 12.68 \approx \mathbf{13}$$

Subsiguientemente, con la ecuación 5.6 se calculó el estimador de la desviación estándar poblacional ( $\hat{\sigma}$ ), siendo  $N$  los 365 días del año,  $n$  los 7 días de la semana, y la desviación estándar muestral, de los cuales se expresa en seguida:

$$\hat{\sigma} = \frac{13}{\sqrt{7-1}} \left[ \sqrt{\frac{365-7}{365-1}} \right] = 5.26 \approx 5$$

Después se calculó la máxima diferencia entre e TPDS y TPDA, el cual depende de dos variables. El número de desviaciones estándar ( $K$ ) correspondiente a un nivel de confiabilidad de 90% tiene un valor de **1.9**. El error estándar de la media ( $E$ ), equivale a  $\hat{\sigma}$ , es decir, **5**. El desarrollo de su ecuación 5.5 es:

$$E = \hat{\sigma} = 5$$

$$A = 1.9 * 5 = 9.5 \approx 10$$

Finalmente, se usó la ecuación 5.4 que involucra al TPDS de cada tramo independiente (siendo 185 vehículos/día para el tramo de Jocote Dulce), y  $A$  (obtenido anteriormente). En el caso de Jocote Dulce, se obtuvo 2 resultados: un mínimo de 175 y un máximo de 195, de los cuales se selecciona el mayor, con el objetivo de atender a la mayor demanda posible para el diseño. A continuación se presenta el desarrollo de la ecuación 5.4:

$$TPDA_{\text{máx}} = 185 + 10 = 195$$

$$TPDA_{\text{mín}} = 185 - 10 = 175$$

Expresado en rango es:

$$\begin{matrix} 175 \\ \text{vehículos} \\ \text{mixtos/días} \end{matrix} \leq TPDA \leq \begin{matrix} 195 \\ \text{vehículos} \\ \text{mixtos/días} \end{matrix}$$

Luego de encontrar el TPDA global, se multiplica este valor por el porcentaje que representa cada tipo de vehículo, encontrando el TPDA por vehículo. Estos

cálculos realizados para el tramo de Jocote Dulce se aplican de igual manera con los demás tramos. Estos resultados pueden observarse en las tablas C.VIII, C.IX, C.X y C.XI correspondiente a los tramos Jocote Dulce, Memorial Sandino y Hialeah II y Hialeah III respectivamente (en anexo C).

### **5.5. DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO (TD)**

El cálculo del tránsito de diseño, requiere de distintas variables para su obtención. Estos están reflejados en la ecuación 5.9.

#### **Ecuación 5.9:**

$$TD=TPDA*FCA*FD*FC$$

Donde:

FCA: Factor de Crecimiento Anual

FD: Factor dirección

FC: Factor carril

#### **5.5.1. FACTOR DE CRECIMIENTO ANUAL (FAC)**

Con la estimación de la tasa de crecimiento, es probable que se incremente la cantidad de vehículos livianos más rápidamente que los vehículos pesados como: buses, C2, C3, y mayores. Cabe destacar que al diseñar para tráfico pesado, el tráfico liviano no tiene incidencia alguna en el comportamiento del pavimento. Se procede a realizar una estimación del crecimiento del tráfico por cada tipo de vehículo.

El Factor Anual de Crecimiento es un valor que depende de la tasa anual de crecimiento y del período de diseño. Para determinarlo, se utiliza la ecuación 5.10.

#### **Ecuación 5.10:**

$$FCA=\frac{(1+TCA/100)^n-1}{TCA/100}*365$$

Donde:

FCA: Factor de Crecimiento Anual

n: vida útil en años

TCA: Tasa de Crecimiento Anual en %

365: Días del año.

El factor de crecimiento Anual se calculó mediante la ecuación 5.10. Previamente se determinaron los valores de la Tasa Anual de Crecimiento y Período de Diseño.

#### **5.5.1.1. TASA DE CRECIMIENTO ANUAL (TAC)**

Es el incremento anual de volumen de tránsito de una vía, expresado en porcentaje. El objetivo principal de una proyección es la cuantificación del volumen de tránsito que hará uso de la vía en donde se va a implementar el proyecto. Se determina por medio de datos estadísticos, basándose variables como: población de los barrios, Producto Interno Bruto (PIB), valor Bruto de producción de obras de Ingeniería, compra de bienes y servicios, consumo de combustibles y el crecimiento del parque vehicular, por mencionar algunos.

**Tabla 5.1.** Principales indicadores macroeconómicos en Nicaragua (BCN).

<b>Producto interno bruto: enfoque de la producción (tasa de crecimiento)</b>				
Total industrias/ Años	2010	2011	2012	2013
<b>Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca</b>	<b>3.2</b>	<b>5.6</b>	<b>2.6</b>	<b>1.2</b>
Explotación de minas y canteras	51.8	25.6	11.2	21.1
Industrias manufactureras	1.1	9.3	5.7	2.7
Electricidad, agua y alcantarillado	2.3	3.3	7.5	3.2
Construcción	17.6	11	30.6	12.6
Comercio hoteles y restaurantes	7	8.3	5.8	4.6
<b>Transporte y comunicaciones</b>	<b>15.4</b>	<b>12.8</b>	<b>9.7</b>	<b>6.8</b>
Servicios de intermediación financiera y conexos	7.4	4.1	3.4	7.2

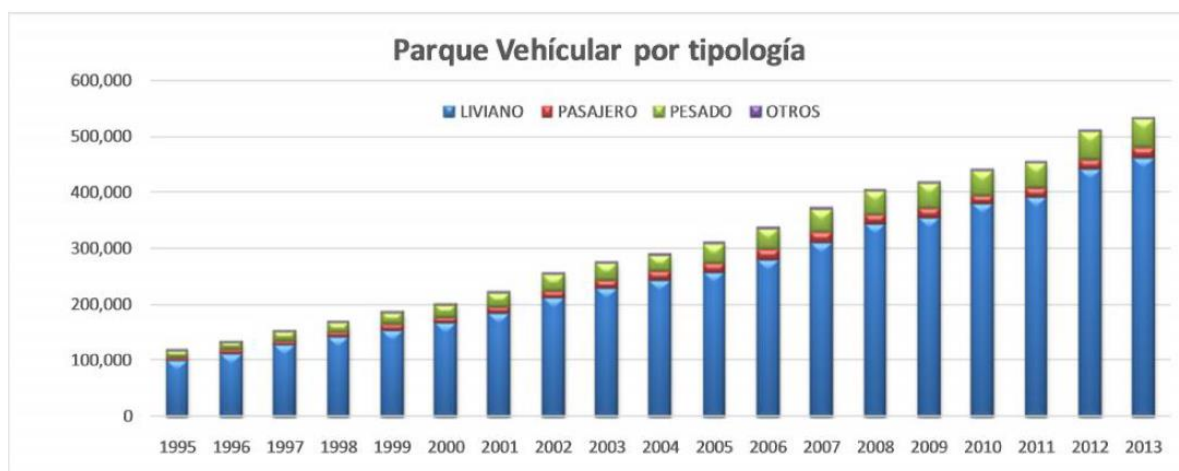
Fuente: Anuario estadístico 2014, BCN

El MTI (2013-2014), en su informe *Anuario de Aforos de Tráfico*, menciona que conforme a estadísticas de la Policía Nacional de Tráfico el parque vehicular en el

país en el año 2013 es de 534,931 vehículos en 4.55% más que el año 2012. Mientras que del 2013 al 2014 hubo un incremento del 7.71%. La composición es de 86.52% corresponden a vehículos livianos, 3.27% de pasajeros, 9.60% pesados y el 0.61% a otros. La mayor concentración vehicular se encuentra en la ciudad capital Managua con el 51.61% correspondiéndole 276,090 vehículos para el 2013.

En el siguiente gráfico, se presenta el crecimiento del parque vehicular desde el año 1995 al 2013, por tipología vehicular, en el cual se observa que el mas representativo son vehículos livianos.

**Gráfica 5.1.** Crecimiento del parque vehicular desde el año 1995 al 2013, por tipología vehicular.



Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2013.

Se seleccionó una tasa anual de crecimiento del 2.5% debido a que son calles secundarias y sólo sirve de acceso para las personas que viven en los barrios. En cuanto al aspecto económico, los ingresos de los habitantes son bajos debido a lo observable por el tipo de vivienda. Con la construcción de estas calles los pequeños negocios se verán favorecidos por el mejoramiento de los tramos. No es una zona de desarrollo industrial, sino una poblacional por las condiciones presentes en el lugar.

### **5.5.1.2. PERÍODO DE DISEÑO**

El término “período de diseño” se considera frecuentemente como sinónimo del término “período de análisis de tránsito”. Es difícil predecir el tránsito con suficiente aproximación para un tiempo largo, por lo que comúnmente se toma un lapso de 20 años como período para el diseño de pavimentos rígidos, sin olvidar que en determinados casos, puede resultar económicamente justificado el empleo de períodos menores o mayores.

El tipo de carretera corresponde a una Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito, cuyo rango de período de diseño es entre 15 a 25 años. Se seleccionó un período de **20 años**. (Ver tabla A.I en anexo A).

Una vez determinados la tasa de crecimiento y el período de diseño, se procedió a calcular el Factor anual de Crecimiento:

$$FCA = \frac{(1 + 2.5/100)^{(20)} - 1}{2.5/100} * 365 = 9323.80$$

### **5.5.2. FACTOR DIRECCIÓN**

Coronado menciona que es el factor del total del flujo vehicular censado, siendo este en la mayoría de los casos 0.5, ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra parte en la dirección opuesta. También señala que puede deducirse del conteo de tránsito efectuado. Este valor está definido en la tabla A.II de anexo A, cuyo valor corresponde a 0.5 para carreteras de 2 carriles.

### **5.5.3. FACTOR CARRIL**

El carril de diseño es aquel que recibe el mayor número de cargas. Para un camino de dos carriles (un sentido cada uno), cualquiera puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por sentido forzosamente se canaliza en ese carril (siendo en este

caso  $FC = 1$ ). Para caminos multicarril, el carril de diseño es el externo, dado que los vehículos pesados transitan por el mismo. FC puede variar entre 1 y 0.5 (100% al 50%). Ver tabla A.III en anexo A. El valor derivado por las características de la carretera es del 100% (según la tabla A.III en anexo A), es decir, todo el flujo vehicular en un sentido pasa en un solo carril.

Finalmente, teniendo los valores requeridos por la ecuación 5.9, se procedió a sustituirlos. En el caso de:

$$TD = TPDA * 9323.80 * 0.5 * 1 = \underline{TPDA * 4661.9}$$

Es pertinente mencionar que el Factor de Crecimiento Anual, Factor carril y factor dirección se utilizaron los mismos en los cuatro tramos por poseer las mismas características. Este procedimiento se realizó para cada vehículo en los cuatro tramos. Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla C.XII de anexo C.

## 5.6. CÁLCULO DEL ESAL'S DE DISEÑO

El cálculo de los ejes equivalentes de carga (ESAL) involucra las siguientes variables: el TPDA por vehículo, la serviciabilidad final (Pt) de la carretera (cuyo valor es 2, para caminos de tránsito menor según tabla A.XII), y el espesor propuesto inicial de losa en pulgadas. Las tablas A.IV, A.V, y A.VI representan los factores equivalentes de carga según el tipo de eje (simples, tandem o tridem respectivamente) y el Pt. En la tabla A.VIII de anexo A, se encuentran el factor ESAL por cada eje de vehículo y su sumatoria. Este valor, fue multiplicado por el número de vehículos que representa cada tipo por su correspondiente factor ESAL, calculándose en la siguiente ecuación:

**Ecuación 5.11:**

$$ESAL's = \text{Factor ESAL's} * TD$$



Donde TD es el tránsito de diseño (por vehículo).

A continuación se presenta el procedimiento para los autos de Jocote Dulce:

### **Tramo Jocote Dulce**

Factor ESAL's de Autos/Camionetas/Jeep: 0.000760 (Ver tabla A.VIII)

Tránsito de diseño: 242,419 vehículos

$$\text{ESAL's} = 0.000760 * 242,419 = 184 \text{ Esal's}$$

Posteriormente se sumaron los resultados de todos los ESAL's por vehículos. Este procedimiento se realizó por cada tipo de vehículo de los tramos. Los ejes equivalentes de carga globales para Jocote Dulce resultaron de 70,128, para Memorial Sandino 67,131, para Hialeah II 22,933 y para Hialeah III 32,745. El resumen de éstos se pueden observar en la tabla C.XIII (anexo C).

## CAPÍTULO 6

### ESTUDIOS DE SUELOS

#### 6.1. ESTUDIO EXPLORATORIO (SONDEO MANUALES)

Jocote Dulce: Se realizaron un total de 2 Sondeos a 1.50 metros de profundidad cada uno; distribuidos a lo largo del tramo.

La ubicación de los sondeos es la siguiente:

- El sondeo 1, localizado en la estación 0+050 en el borde izquierdo de la calle en estudio. En éste sondeo se extrajeron un total de 3 muestras, con espesores de 0.45, 0.35 y 0.70 metros.
- En el Sondeo 2, se identificó un solo tipo de muestra, con un espesor de 1.50m de profundidad. Localizado en la estación 0+150 en el borde derecho.

Memorial Sandino: Se ejecutaron un total de 2 Sondeos a 1.50 metros de profundidad cada uno, sobre el trayecto del tramo.

- El sondeo 1, se encuentra localizado en la estación 0+060 en el borde derecho. En éste se extrajeron un total de 3 muestras, con espesores de 0.35, 0.85 y 0.30 metros.
- En el Sondeo 2, se extrajeron un total de 3 muestras, con espesores de 0.13, 0.67 y 0.70 metros. El Sondeo 2 se encuentra ubicado en la estación 0+120 en el borde izquierdo.

Hialeah II: Se realizó un total de 2 sondeos, con excavación de 1.50 metros de profundidad cada uno.

- En el sondeo 1, se identificaron 4 muestras, con espesores de 0.25, 0.65, 0.40 y 0.20 metros. Se encuentra localizado en la estación 0+050 en el borde izquierdo.

- El Sondeo 2, está localizado en la estación 0+160, se extrajeron un total de 3 muestras, con espesores de 0.10, 0.85 y 0.55 metros. Ubicado en el borde derecho.

Hialeah III: Se realizaron un total de 3 Sondeos, con profundidades de 1.50 metros, distribuidos a lo largo del trayecto.

- En el sondeo 1, localizado en la estación 0+060 en el borde derecho, se extrajeron un total de 3 muestras, con espesores de 0.15, 0.70 y 0.65 metros.
- En el Sondeo 2, se identificaron un total de 3 muestras, con espesores de 0.4, 0.80 y 0.30 metros, localizados en la estación 0+200 en el borde izquierdo.
- En el Sondeo 3, se encuentra ubicado en la estación 0+280 en el borde derecho. En este sondeo se extrajeron un total de 4 muestras, con espesores de 0.10, 0.70, 0.30 y 0.40 metros.

## **6.2. TRABAJOS DE LABORATORIO**

De las 27 muestras obtenidas en los sondeos realizados en los cuatro tramos, se procedió a realizar los ensayos de Prueba de Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg, Próctor Modificado y Relación Soporte de California (C.B.R). La tabla resumen de los ensayos realizados se pueden observar en la tabla D.I (del anexo D) con su respectivo ensaye.

## **6.3. MATERIALES DE BANCOS**

Según datos proporcionados por la Alcaldía de Managua, este proyecto tiene destinado como material de banco el hormigón rojo (extraído en el Km 18.5 carretera a Xiloá), y selecto gris (desde el banco de materiales Miraflores ubicado en el Km 15 carretera a Xiloá) como materiales de base. Ambos propuestos para mezcla y ser utilizados como base en los casos en donde se necesite.

#### **6.4. RESULTADOS OBTENIDOS**

Los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorios se reflejan en la tabla D.II del anexo D. La clasificación de cada una de las muestras y el C.B.R. obtenido se representaron gráficamente en la estratificación de los sondeos manuales, en el anexo D, en las figuras D.I (Jocote Dulce), D.II (Memorial Sandino), D.III (Hialeah II) y D.IV (Hialeah III).

La base del pavimento rígido dio como resultado un C.B.R. del 73% compactado al 95%, conformado de la combinación de ambos materiales de banco en iguales porciones. Los resultados de los ensayos obtenidos de los materiales de banco se presentan en la tabla D.III en anexo D.

## CAPÍTULO 7

### DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

#### 7.1. DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Se delimitaron los siguientes parámetros para determinar si un tramo requiere de una base:

Con respecto al C.B.R.: los casos en los que los suelos presentes en contacto con la losa de concreto cuyo C.B.R. sea menor al 40%, se propuso usar una base de material de banco (apoyándose en el criterio del C.B.R. mínimo de la NIC-2000 para uso de sub-bases en pavimentos de asfalto). Según Crespo, C. (2004) en su libro *Mecánica de suelos y cimentaciones*, clasifica la calidad de los suelos respecto a su C.B.R., y al empleo de éstos, que se le puede atribuir en la estructura del pavimento.

**Tabla 7.1.** Clasificación de suelos según su C.B.R.

C.B.R.	Clasificación
0 – 5	Subrasante muy mala
5 – 10	Subrasante mala
10 – 20	Subrasante regular a buena
20 – 30	Subrasante muy buena
30 – 50	Sub-base buena
50 – 80	Base buena
80 – 100	Base muy buena

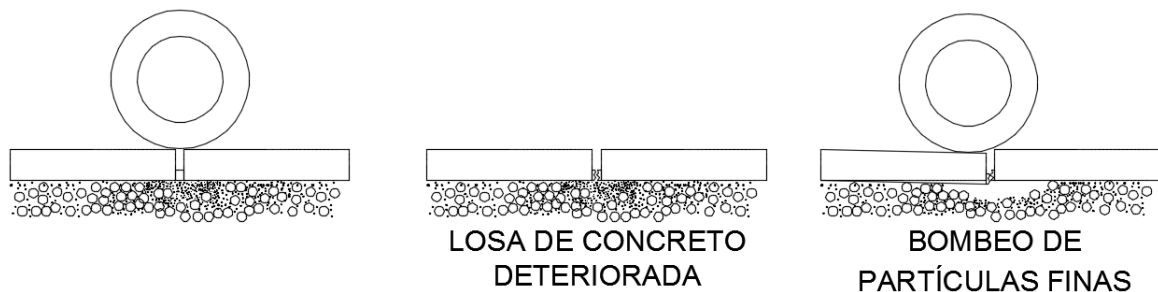
Fuente. Mecánica de suelos y cimentaciones. (p.113)

Con relación a la presencia de finos en su granulometría: todo suelo que en su granulometría pase más del 35% el tamiz N° 200, se considera un suelo fino (basado en la clasificación de la AASTHO, ver tabla A.X, anexo A). Este parámetro es de suma importancia debido al efecto del bombeo que el pavimento rígido experimenta.

Rico, A. (2005) en su texto La Ingeniería de suelos en las Vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas, define **bombeo** como:

Un efecto especial de los pavimentos rígidos, sumamente indeseable, pero muy frecuente cuando no se toman precauciones especiales. Cuando la carga del tránsito pasa sobre una grieta o junta de la losa, ésta desciende y transmite presión al material bajo ella. Si el suelo está muy húmedo o saturado, la mayor parte de esta presión la tomará el agua, que tendrá que escapar por la grieta o junta. Después de pasar la carga, la losa recupera y levanta y este movimiento produce una succión que ayuda al movimiento del agua bajo la losa. Si el agua tiene capacidad de arrastrar partículas del suelo, saldrá sucia, creando progresivamente un vacío bajo la losa, que tiende a hacer que este fenómeno se acentúe. (p. 208). Ver figura 7.1.

**Figura 7.1.** Efecto de bombeo a causa de las partículas finas presentes en los suelos en contacto con la losa de concreto.



Fuente: Elaborada por el autor.

La estructura de pavimento rígido consta de tres capas: losa, base y subrasante. Para la definición esta, se consideró primero un nivel de excavación de 30cm. por debajo del nivel existente del terreno (ver en anexo E figura E.I, E.II, E.III y E.IV), como una profundidad provisional que se estima que ocupe la losa de concreto y base, para que el nivel de la rasante no supere el nivel del terreno natural. Posteriormente se analizaron los estratos superiores de la subrasante de los tramos:

Jocote Dulce: los estratos superiores de los sondeos 1 y 2 poseen un porcentaje de partículas del 16 y 32% respectivamente, que pasan el tamiz N° 200. El C.B.R. para los estratos presentes en contacto con la losa de concreto es de 48%. Se

propone usar una base debido a la presencia de finos que está relativamente cerca a clasificar como un suelo fino.

Memorial Sandino: En los estratos superiores, los porcentajes de finos no superan el 14%. Los C.B.R. para ambos estratos fue de 92%. Según la tabla de clasificación de suelos por C.B.R. clasifica un suelo muy bueno para usarse como base.

Hialeah II: el estrato del sondeo 1 posee un 30% de partículas que pasa la malla No. 200. En el sondeo 2, el estrato actual presenta un porcentaje de finos del 21%. El C.B.R. presente en los estratos de los sondeos 1 y 2 son de 13% y 60% respectivamente. Teniendo en cuenta el caso más crítico (13%) se considera utilizar una base.

Hialeah III: Se propuso utilizar una base debido a que el C.B.R. predominante en dos tercios de los suelos resultó ser de un 12%, siendo suelos regular para subrasante.

### 7.1.1. C.B.R. DE DISEÑO

Existen diversas maneras para la determinación del C.B.R. de diseño, entre los cuales están:

- ✓ La ponderación de los C.B.R. presentes en los estratos: Consiste en la suma del producto de cada uno de los C.B.R. presentes en los estratos por su espesor respectivo, dividido entre la profundidad total.

**Ecuación 7.1.**

$$\% \text{ CBR}_p = \frac{\sum_{i=1}^i \text{CBR}_i * d_i}{D}$$

CBR<sub>p</sub>: CBR ponderado.

CBR<sub>i</sub>: CBR del estrato i.

D: suma de espesores de todos los estratos.

$d_i$ : espesor de estrato  $i$ .

$i$ : número de estrato.

- ✓ Selección del C.B.R. predominante en los estratos: se utiliza este criterio si el C.B.R. del suelo es el mismo en la mayoría de los diferentes estratos de los sondeos.
- ✓ Selección del C.B.R. más crítico: se considera el suelo de baja calidad presente en los estratos que puedan estar en contacto con la losa.

A continuación se describe el análisis para cada tramo:

Jocote Dulce (figura E.I): El C.B.R. presente por debajo del nivel de la subrasante resultó ser de 48%, cuyo espesores son de 0.35 y 1.2m, promediando es de 0.78m.

Memorial Sandino (ver figura E.II): Es un suelo cuyo C.B.R. predominante es del 92%. El espesor promedio que presenta la subrasante es de 1.35m.

Hialeah II (ver figura E.III): Presenta dos estratos con C.B.R. distintos, por lo que se calculó por medio de la ponderación:

Estrato de sondeo 1 (0.6m): 13%

Estrato 2 de sondeo 2 (0.65m): 60%

$$\% \text{ CBR}_p = \frac{(0.6\text{m})(13\%)+(0.65\text{m})(60\%)}{1.25\text{m}}$$

$$\% \text{ CBR}_p = 37.44\% (37\%)$$

Por su capacidad soporte, clasifica como una sub-base buena, de manera que se puede conservar para la subrasante. La profundidad promedio que representa la subrasante para este C.B.R. es de 0.63m.

Hialeah III (ver figura E.IV): El C.B.R. de estos estratos se calculó por medio de ponderación ya que presenta distintos C.B.R. y espesores.



C.B.R. de sondeo 1 (0.6m): 30%

C.B.R. sondeo 2 (1.20m): 12%

C.B.R. sondeo 3 (0.50m): 12%

$$\% \text{ CBR}_p = \frac{(0.55\text{m})(30\%)+(1.20\text{m})(12\%)+(0.50\text{m})(12\%)}{2.25\text{m}}$$

$$\% \text{ CBR}_p = 16.4\% \text{ (16\%)}$$

El espesor promedio para este C.B.R. es de 0.75m.

En anexo E, tabla E.I se encuentran resumidos los valores de C.B.R. de base, C.B.R. de subrasante y el espesor que ésta última representa.

### 7.1.2. MÓDULO DE REACCIÓN DE LA BASE Y SUBRASANTE

El MTI, (2013), en su *Informe de Pavimento Proyecto: Mejoramiento de la carretera La Paz Centro–Malpaisillo*, asevera que:

El Módulo de reacción de la subrasante (valor  $K_0$ ) está definido como aquella medida estimada que sobre la parte superior de la capa de balasto terminada o terraplén, sobre la cual será construida la base y/o losa de concreto. El valor  $k$  representa la subrasante (y terraplén, si hubiera); este valor no representa la capa base. La base es considerada una capa estructural del pavimento junto con la losa de concreto, y por tanto su espesor y módulo son importantes entradas de diseño en la determinación del espesor requerido. (p.17).

El valor  $k$  elástico en la parte superior de la subrasante o terraplén es la variable de entrada de diseño requerida. El valor  $k$  bruto incorporado en versiones previas de la Guía AASHTO representa no solamente la deformación elástica de la subrasante bajo una placa de carga, sino también la substancial deformación permanente. (p.18)

Según el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) de Chile (2008), en su Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, declara que para obtener el módulo de reacción de la subrasante, se utiliza la

correlación existente entre el módulo de reacción de la subrasante y el CBR, la cual se presenta a continuación.

✓ Para CBR  $\leq 10\%$

**Ecuación 7.2.**

$$K=2.55+52.5 \log(\text{CBR}) \quad (\text{kg/cm}^3)$$

✓ Para CBR  $> 10\%$

**Ecuación 7.3.**

$$K=46+9.08 [\log (\text{CBR})]^{4.34} \quad (\text{kg/cm}^3). \text{ (p.348)}$$

El C.B.R. de diseño se determinó en la sección anterior para cada una de las subrasantes de los tramos (tabla E.I, anexo E). El cálculo del módulo de reacción se obtuvo mediante las ecuaciones 7.2 y 7.3, dependiendo del valor del C.B.R. presente. En caso de Jocote Dulce, se obtuvo un módulo de reacción de 132.56 Kg/cm<sup>3</sup>, desprendiéndose de la ecuación 7.3:

**Tramo de Jocote Dulce (C.B.R.:  $48\% \geq 10\%$ , Ec. 7.3)**

$$K_0=46+9.08 [\log (\text{CBR})]^{4.34}$$

$$K_0=46+9.08 [\log (48)]^{4.34}$$

$$K_0=132.56 \text{ (kg/cm}^3\text{)}$$

Del mismo modo, los cálculos del módulo de reacción de la subrasante de los demás tramos se realizó con esta ecuación por poseer un C.B.R. $>10\%$ . Los resultados obtenidos están contenidos en la tabla E.II.

En el caso de la base, en Jocote Dulce, Hialeah II y Hialeah III se definió que se use base de 15cm. de espesor (de la mezcla de los materiales de banco con las porciones especificadas para el proyecto). En Memorial Sandino, se consideró el propio suelo como material para su base, con una profundidad de 0.15m. Los cálculos de los módulos de reacción de la base se calcularon de la misma manera,

aplicando las mismas ecuaciones y condiciones. Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla E.III (Anexo E):

**Para base de Jocote Dulce, Hialeah II y Hialeah III (C.B.R.: 73% ≥ 10%, Ec. 7.3)**

$$K_1 = 46 + 9.08 [\log (\text{CBR})]^{4.34}$$

$$K_1 = 46 + 9.08 [\log (73)]^{4.34}$$

$$K_1 = 181.25 \text{ (kg/cm}^3\text{)}$$

## 7.2. DISEÑO POR EL MÉTODO DE LA AASHTO 98

### 7.2.1. MÓDULO DE REACCIÓN COMPUESTO ( $K_c$ ).

De acuerdo a MINVU, la presencia de una base de calidad superior a la subrasante sobre la cual se va a construir un pavimento, permite aumentar el módulo ( $K$ ) a utilizar para el diseño, mediante el criterio denominado “Módulo de Reacción Compuesto ( $K_c$ )”. Que se obtiene a partir del módulo de la subrasante  $K_0$ , del módulo de la base ( $K_1$ ) y la altura de este último ( $h$ ). Este valor se obtiene con la siguiente expresión:

**Ecuación 7.4.**

$$K_c = K_0 \cdot \left[ 1 + \left( \left( \frac{h}{38} \right)^2 \cdot \left( \frac{K_1}{K_0} \right)^{2/3} \right)^{1/2} \right] \text{ (kg/cm}^3\text{)}$$

Así, el módulo de reacción ( $K$ ) compuesto, en el caso de Jocote Dulce, Hialeah II y Hialeah III, calculado con la ecuación anterior, dio como resultado 192.37 kg/cm<sup>3</sup>. Este valor equivale a 708 libras por pulgadas cúbicas (pci), a continuación se presenta su cálculo:

$$K_c = (132.56) \left[ 1 + \left( \left( \frac{15}{38} \right)^2 \cdot \left( \frac{181.25}{132.56} \right)^{2/3} \right)^{1/2} \right]$$

$$K_c = 192.37 \text{ kg/cm}^3$$

$$K_c = 708 \text{ PCI}$$

La tabla resumen para los módulos de reacción K compuesto de los 4 tramos se reflejan en la tabla E.IV en anexo E.

### **7.2.2. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DE LA BASE**

El autor, Ortiz, L. (1998) en su texto Elasticidad, define que: el módulo elástico (o módulo de Young) es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material dúctil, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de Young tiene el mismo valor para una tracción que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico, y es siempre mayor que cero.

En el anexo A, en la tabla A.XI, se reflejan los valores picos de los módulos elásticos para los diferentes tipos de bases, así como también su coeficiente de fricción. Para esta base se seleccionó un módulo elástico de 30,000PSI, teniendo característica de suelos granulares.

### **7.2.3. SERVICIABILIDAD**

La Serviciabilidad de un pavimento, según Coronado, J. (2002), es un valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento normal de un vehículo; este valor depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. Este puede tomar un valor de 5 para un pavimento en perfecto estado, a un 0 sobre un pavimento en franco deterioro o un índice de serviciabilidad final dependiendo la categoría del camino. Estos valores se adoptan en base a lo antes mencionado y a criterio del proyectista.

Coronado también afirma, que la diferencia entre estos dos valores se le conoce como la pérdida de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ), o sea el índice de serviciabilidad

presente (Present Serviciability Index) (p.3). Como se trata de un pavimento rígido se tomaron un **índice de Serviciabilidad inicial de 4.5** por recomendaciones de la AASTHO y un **Índice de Serviciabilidad final de 2.0**. (Ver anexo A tabla A.XII).

#### **7.2.4. MÓDULO DE RUPTURA DEL CONCRETO (S'c)**

El MTI, refiere en su *Informe de Pavimento Proyecto: Mejoramiento de la carretera La Paz Centro–Malpaisillo* que:

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'c) o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días (p. 20).

El valor de la resistencia a la compresión del concreto (f'c) seleccionado para este diseño es de 4,000 PSI, cuyo valor permite considerar una resistencia adecuada a las características del concreto proporcionado en el país, además permite utilizar un valor considerable de la resistencia a la flexión (MR). La relación entre el módulo de ruptura y la resistencia a la compresión puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 7.5.**

$$MR = 10\sqrt{f'c}, \quad (\text{PSI})$$

Por lo tanto, para un concreto de 4000psi se obtuvo un MR de 632.46 psi, sustituyéndose en la ecuación de la siguiente manera:

$$MR = 10\sqrt{(4,000\text{psi})}$$

$$\mathbf{MR = 632.46 \text{ psi}}$$

#### **7.2.5. MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN (Ec)**

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. El MTI señala, que en caso de que no se pueda realizar

este ensayo en laboratorio, el módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ), puede calcularse con suficiente precisión a partir de la siguiente ecuación empírica (7.6), dada por el Código ACI para concretos corrientes de arena y piedra. Asimismo el MTI cita a H. Nilson que el peso del concreto es:  $W_c = 150 \text{ lb/pie}^3$  (Diseño de Estructura de Concreto, H. Nilson p.39).

#### **Ecuación 7.6.**

$$E_c = 57,000 * F_c^{0.5}$$

El módulo elástico del hormigón para los 4 tramos se calculó con la ecuación 7.6, dando como resultado lo siguiente:

$$E_c = 57,000 * (4,000)^{0.5} = \underline{\underline{3,604,996.53 \text{ psi}}}$$

#### **7.2.6. MÓDULO POISSON**

El módulo de Poisson del concreto, es definido por el MTI como la relación entre las deformaciones transversal y longitudinal al estar sometido el concreto a esfuerzos de compresión dentro del comportamiento elástico. También menciona que: los ingredientes del concreto, las condiciones climáticas de los ensayos y los métodos de prueba, son factores que influyen en el módulo poisson y módulo de elasticidad, por lo que se debe tener mucho cuidado en su determinación y uso.

Los valores del módulo o relación de Poisson varían en el rango de 0.10 a 0.20 para concreto hidráulico como lo refleja la tabla A.XIII (ver anexo A), del cual su valor pico es **0.15**.

#### **7.2.7. COEFICIENTE DE FRICCIÓN**

El coeficiente de fricción es un valor dependiente, que se define según el tipo de material del cual están hecho 2 cuerpos en contacto o de las interacciones de las partículas que los componen. Para los cuatro tramos a diseñar, en los que se

destinó como base el material de banco, cuya clasificación es A-1-a (en Jocote Dulce, Hialeah II y Hialeah III) y material de sitio con clasificación A-1-b (en Memorial Sandino). Se determinó un coeficiente de fricción pico medio de 1.4. Este valor está definido (por la AASHTO) en la tabla A.XI del anexo A de este documento.

#### **7.2.8. CONFIABILIDAD (R)**

Coronado, define este término como el valor que se refiere al grado de seguridad o veracidad de que la estructura de pavimento puede llegar en buenas condiciones al final del período de diseño. Se seleccionó un R igual a 80%, valor definido en la tabla A.XIV de anexo A, correspondiente a un tipo de carretera colectora rural.

#### **7.2.9. DESVIACIÓN NORMAL ESTÁNDAR (Zr)**

Esta variable define que para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje, etc.) que intervienen en un pavimento, el tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un período de diseño, sigue una ley de distribución normal con una media y un error estándar combinado ( $S_o$ ). Coronado, (p.54). Con esta distribución se obtiene el valor de  $Z_r$  que depende del valor de confiabilidad (R). La desviación estándar resultante para una confiabilidad de 80% fue de -0.841. Ver tabla A.XV en anexo A.

#### **7.2.10. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO ( $S_o$ )**

Este valor, es descrito por Coronado, como el que representa la desviación estándar conjunta, e incluye la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el comportamiento del pavimento, es decir, el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de Serviciabilidad descienda por debajo de un determinado  $P_t$  (nivel final de Serviciabilidad). Se recomienda utilizar para  $S_o$  valores comprendidos dentro de los intervalos: para pavimentos rígidos

(0.30 - 0.40). El error estándar obtenido de la tabla A.XV en anexo A, es de **0.32**, este valor está dentro del rango recomendado para pavimentos rígidos por el manual de pavimentos de la SIECA.

#### **7.2.11. FACTOR DE AJUSTE DE SOPORTE DE BORDE (E)**

En la guía de la AASHTO, el valor este factor corresponde a las siguientes condiciones: 1 para carril de circulación convencional de hasta 12 pies de ancho (3.66m), 0.94 para carril de circulación convencional de 12 pies de ancho (3.66m) más hombro de concreto atado, y 0.92 para losa ampliada en 2 pies (0.6m) con ancho de carril convencional de 12pies (3.66m). Las condiciones para las que se diseñarán los cuatro tramos son para carriles de circulación convencional, cuyo coeficiente de factor ajuste de soporte de borde corresponde a **1**.

#### **7.2.12. CLIMA**

El clima se reconoce como un factor a considerar en el comportamiento de los pavimentos, existen pocos métodos en el que recurren a utilizarlo y determinar cuantitativamente su magnitud. Dentro de los factores q se consideran son la velocidad del viento, la temperatura y precipitaciones. Las dimensiones de la losa tienden a curvarse arriba durante el día (por el calor que genera el sol), y durante las noches (cuando desaparece la fuente de calor, se disipa más rápido arriba), a medida q el calor se mantiene, se expande la parte inferior.

Según la clasificación climática de Köppen, el departamento de Managua tiene un clima tropical de sabana. El Instituto de Estudios Territoriales (INETER) (2008), en su documento *Caracterización Climática del Departamento de Managua*, expresa que la velocidad del viento en Managua es de **2.9m/s** (6.49 mph), con una temperatura media anual de **26.8°C** (80.2 °F) Las temperaturas máximas y mínimas media anuales son de 31.8°C y 21.8°C respectivamente, y una precipitación media anual de **1,204 mm** (Wetter im Detail: Klimadaten), (2012).



### 7.2.13. RESUMEN DE VARIABLES REQUERIDAS

El resumen de los resultados de las variables calculadas previamente se encuentra reflejadas en la tabla E.V de anexo E. De ello se puede decir, que los tramos poseen características similares: el factor de la compresión (de 4000 PSI), tipo de carretera, número de carriles, etc.; pero también existen dos variables distintivas de cada uno de ellos, que son: el Módulo de Reacción Compuesto ( $K_c$ ) y Ejes Equivalentes de carga de cada lugar.

### 7.2.14. RESULTADOS DE DISEÑO AASHTO 98

Se introdujeron los valores en una hoja Excel programada con el diseño de la AASHTO 98 para cada uno de los cuatro tramos: Jocote Dulce (figura E.V), Memorial Sandino (figura E.VI), Hialeah II (figura E.VII) y Hialeah III (figura E.VIII) en anexo E. El espesor resultante para las variables determinadas se presenta a continuación en la tabla 7.2.

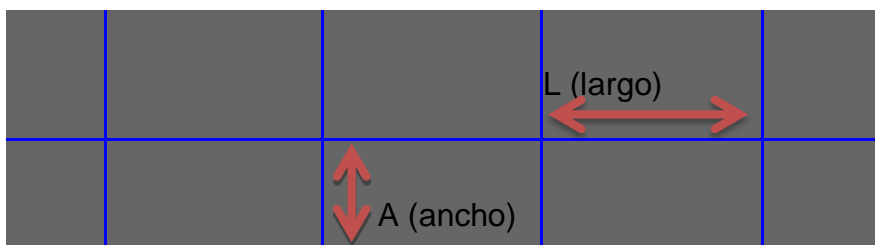
**Tabla 7.2.** Espesores de pavimento resultantes.

CARRETERA	Espesores de diseño (cm)	
	Losas de Concreto (plg.)	Base Granular (plg.)
Jocote Dulce	6	6
Memorial Sandino	6	6
Hialeah II	6	6
Hialeah III	6	6

### 7.2.15. DIMENSIONES DE LAS LOSAS

Toda losa también se ve limitada bajo las normas de dimensionamiento en cuanto la relación de largo/ancho, respecto a su sección transversal ( $A$ ), con respecto a su sección longitudinal ( $L$ ). Gráficamente:

**Figura 7.2.** Relación Largo–Ancho de losa.



El rango recomendado por la Asociación de Cemento Portland, es de 0.71 a 1.40, esto es  $0.71 < L/A < 1.4$ . Sin embargo, en Nicaragua se utiliza la relación de largo-ancho que debe de estar comprendida en los valores 0.80 y 1.20 (Valor utilizado en los proyectos de los últimos 10 años en Nicaragua, Inventario de Proyectos, MTI), cabe mencionar que la Guía de Diseño de Pavimento de la AASHTO 98 recomienda menor de 1.25.

Las dimensiones de las losas se definieron a una dimensión equivalente al ancho del carril. Tanto el ancho de calzada como de carril fueron proporcionado por el topógrafo responsable en cada tramo y se encuentran plasmados en la tabla 7.3 a continuación:

**Tabla 7.3.** Anchos de Calzada y Carril

BARRIO	ANCHO DE CALZADA (m)	ANCHO DE CARRIL (m)
Jocote Dulce	6	3
Memorial Sandino	4 y 7.2	2 y 3.6
Hialeah II	4	2
Hialeah III	5.6	2.8

#### **7.2.15.1. MODULACIÓN DE LAS LOSAS**

La modulación de las losas está regida por la separación de las juntas transversales, que a su vez dependen del espesor de la losa. El objetivo es inducir

el agrietamiento controlado bajo los cortes de las losas (Sección rebajada), sin necesidad de colocar refuerzo continuo.

El objetivo de la junta longitudinal es partir en dos tramos iguales la losa de concreto. De esta división del tramo resultan 3 distancias en una sección típica, siendo: los anchos de calzada, que es la distancia entre la cara de los bordes; los anchos de carril que corresponde a la mitad de la calzada; y la división del carril en dos partes tomándose como dimensiones para la losa convencional.

Existe una regla práctica que permite dimensionar los tableros de losas para inducir el agrietamiento controlado bajo los cortes de losas, sin necesidad de colocar acero de refuerzo continuo. Ésta se encuentra regida por la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 7.7.**

$$S_{jt} = (21 \text{ a } 24) D$$

Donde:

$S_{jt}$  = Separación de Juntas Transversales (cm). Nunca mayor de 5.5 metros.

$D$  = Espesor de la losa (cm).

Para los cuatro tramos se utilizó una losa de 15cm, de manera que  $S_{jt}$  (teniendo como valor 24) para base granular triturada:

#### **Cuatro tramos:**

$$24 * (15\text{cm}) = 3.60\text{m} (11.81 \text{ ft})$$

Este valor es el mismo para los otros tres tramos por poseer el mismo espesor. Observando la tabla 7.3 (en metros), se verificó que el largo de la losa aplica dentro del rango para todos los tramos. Estas dimensiones se dividieron a la mitad de su largo y ancho con el método de losas cortas y su análisis en NYSLAB.

### **7.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y OPTIMIZACIÓN DE ESPESOR DE LA LOSA POR EL MÉTODO DE LOSAS CORTAS CON AYUDA DEL SOFTWARE NYSLAB**

En el programa inicialmente se introducen los datos generales en la pestaña información (ver figura E.V), tales como ubicación, nombre, identificación del proyecto, entre otros. En las siguientes pestañas requiere de distintas variables, las cuales son desarrolladas a continuación:

#### **7.3.1. MATERIAL**

##### **7.3.1.1. CAPAS**

Se procedió a realizar las respectivas iteraciones para optimizar el espesor de las losas resultantes para cada uno de los barrios por medio del método de la AASHTO 98. Los cuatros tramos fueron configurados con tres capas.

La primer capa consta de la losa de pavimento de concreto hidráulico, con 6 pulgadas de espesor (ver tabla 7.2). La segunda capa corresponde a la base, de 15 cm de espesor, como una base granular A-1-a (perteneciente al material de banco destinado al proyecto) para Jocote Dulce, Hialeah II y Hialeah III, y una base granular A-1-b (material del sitio) para Memorial Sandino. La tercer capa es para la subrasante (el estrato que está en contacto con la capa anterior), de cada lugar con su clasificación. Ver Figura E.X, anexo E.

##### **7.3.1.2. TIPOS DE BASES**

El tipo de base (o fundación) se consideró que la fundación es modelo Winkler. También se le conoce como un "líquido denso", este considera la subrasante a ser un camino de pocos espacios y resortes lineales independientes. Si los resortes son independientes, se deforma debido a la fuerza aplicada directamente a ellos.

La fuerza de corte se puede transmitir a lo largo de la cama de resortes. Este modelo. Ver figura E.X en anexo E.

#### **7.3.1.3. PERFIL TÉRMICO**

En el tramo en estudio se consideró lineal con un gradiente de  $\pm 5^\circ \text{F}$ , es decir, de  $80.2^\circ \text{F}$  a  $75.2^\circ \text{F}$ , siendo la temperatura de referencia  $80.2^\circ \text{F}$  que es la media anual para los cuatro tramos. El programa define la casilla P1 como la superficie de arriba de la losa, en el que se introdujo el valor de  $80.2^\circ \text{F}$  para gradiente diurno, y en la casilla P4, correspondiente a la superficie de abajo del concreto a una profundidad de 6 pulgadas (equivalente al espesor de la losa) se introdujo un valor de  $75.2^\circ \text{F}$  para el mismo gradiente. En el caso del gradiente nocturno, en la casilla de P1 se introdujo el valor de  $75.2^\circ \text{F}$  y a P4 el valor de  $80.2^\circ \text{F}$ . (Ver figura E.X en anexo E).

#### **7.3.1.4. COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA ( $\alpha$ )**

El coeficiente de dilatación térmica ( $\alpha$ ), cuya unidad es  $1/^\circ \text{C}$  o  $^\circ \text{C}^{-1}$ , es el cociente que mide el cambio de longitud o volumen que se produce en un cuerpo sólido o un fluido contenido en un recipiente que experimenta una variación de temperatura que se provoca en él por cualquier medio. El valor de este correspondiente al concreto es de  $5.0 \times 10^{-5} ^\circ \text{C}$  (0.00005), extraído de la tabla A.XVI de anexo A. Ver figura E.VI, anexo E.

#### **7.3.1.5. MÓDULO DE RUPTURA DEL CONCRETO ( $S'_c$ )**

El módulo de ruptura corresponde al mismo calculado en la sección 7.2.4 con la ec. 7.5, teniendo como resultado **432.46psi**, del cual se aplicó la teoría de Clemmer (1923). Según Yang, H. (2004) en su obra *Análisis y Diseño de Pavimento*, explica que:

Según los resultados en el experimento de Bate (Clemmer), una tensión de flexión inducida podría ser repetida indefinidamente sin causar ruptura,

siempre que la intensidad de esfuerzo en las fibras no exceda aproximadamente 50% del módulo de ruptura del concreto (p.7).

El 50% del módulo de ruptura es de **316.23 psi**. En base a este valor se optimizó las losas en NYSLAB.

#### **7.3.1.6. *MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN ( $E_c$ )***

El módulo elástico del hormigón se calculó en la sección 7.2.5, cuyo esfuerzo a la compresión es de 4000psi, dando como resultado **3,604,996.53** psi. Este valor es requerido en Kilo libras por pulgadas cuadradas, por lo que el valor a introducir fue **3,605 Ksi**. Ver figura E.X de anexo E.

#### **7.3.1.7. *MÓDULO POISSON***

El módulo de Poisson correspondiente al concreto fue de 0.15, valor obtenido de la tabla A.XIII en anexo A. Ver figura E.VI anexo E.

#### **7.3.1.8. *MÓDULO DE REACCIÓN (K) COMPUESTO***

Estos valores K son los calculados en la sección 7.2.1. “Determinación de Modulo de Reacción ( $K_c$ ) compuesto”, cuyo resultados están en la tabla E.IV en anexo E. El valor tanto para base como para subrasante se digitó el mismo, porque  $K_c$  combina el los módulos de reacción en uno solo. Ver figura E.X anexo E.

### **7.3.2. LOSA**

Se estableció el número de losas para analizar y las características geométricas de éstas.

### 7.3.2.1. **DIMENSIONES DE LA LOSA**

El programa requiere el número de losas (longitudinales x transversales), y sus dimensiones para ser analizados, se pueden seleccionar entre 1 x 1 a 5 x 4 como combinaciones de losas, para ello se debe modular la losa previamente. Se introdujo para el análisis 5 losas longitudinales con 2 laterales en cada tramo (obsérvese Figura E.XI). Los datos de las dimensiones de las losas convencionales (definidas por el ancho del carril) y losas cortas (la mitad de largo y ancho) se presentan a continuación:

**Tabla 7.4.** Dimensiones de las losas.

BARRIO	CARRIL		LOSA	
	ANCHO (m)	ANCHO (ft)	LARGO (ft)	ANCHO (ft)
Jocote Dulce	3	9.84	4.92	4.92
Memorial Sandino	2 y 3.6	6.56 y 11.81	3.28 y 5.91	3.28 y 5.91
Hialeah II	2	6.56	3.28	3.28
Hialeah III	2.8	9.18	4.59	4.59

Fuente: Elaborado por autores

La relación largo/ancho se cumplió ya que se tomaron losas de formas cuadradas dando como resultado 1, cumpliendo con los parámetros mencionados en la sección 7.2.15 del presente documento.

### 7.3.3. **JUNTAS**

Se definen las características de las espigas o entrelazadas que hay entre cada conexión de losas. Las propiedades mecánicas de las articulaciones y los espaciados según las especificaciones del proyecto.

El programa permite modelar las juntas describiendo la conexión estructural de cada losa, también las propiedades de las juntas transversales y longitudinales. Se debe seleccionar si la transferencia de carga entre losa es por trabazón de agregados o acero. Las propiedades dispositivos de pasadores o pasa juntas

dependen de la selección del tipo de articulación. En los cuatro tramos, en la transferencia de carga, se propuso trabajar por trabazón de agregados. Ver figura E.XII anexo E.

#### **7.3.4. CARGAS**

El programa tiene la opción de introducir la carga aplicada a la sección de pavimento. Existen dos opciones: utilizar un perfil de carga previamente establecido o crear una nueva, al elegir la primera opción cargara automáticamente las propiedades por defecto de la configuración seleccionada de un camión con valores predefinidos almacenados en el programa.

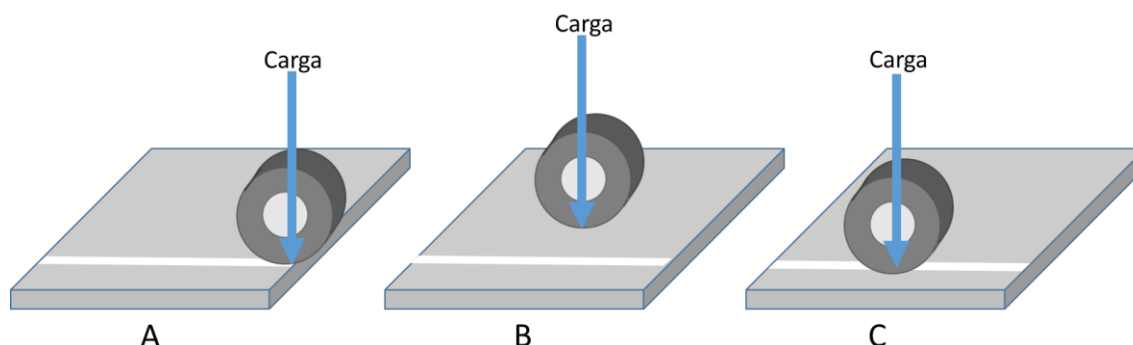
Los tramos en estudio se modelaron con el vehículo Su2 (definido por el programa) siendo este el equivalente en el diagrama Nicaragüense al C2 (liviano) definido en la sección 5.1, ya que es el vehículo pesado que mayormente incide en el deterioro del pavimento, como también el que más transita por estas vías en cuanto a vehículos pesados. Ver figura E.IX en anexo E. Además es el más perjudicial con respecto a la distribución de carga en el pavimento.

#### **7.3.5. ANÁLISIS**

A continuación, se procedió a modelar la losa, el cual consiste en ubicar la carga según las tres ubicaciones determinados por Harold Malcolm Wesstergard, siendo estos: el Centro, Borde libre y Esquina de losa (ver figura 7.3). También se introdujeron dos variables de dirección: “X” (dirección longitudinal) y “Y” (dirección transversal), para lograr que el tren de cargas de todos los ejes del vehículo que causa mayor daño a la losa individualmente pase en una sola.



**Figura 7.3.** Posiciones Críticas de cargas para pruebas en losas: Esquina (A) centro (B), y borde libre (C).



Para los casos del borde y esquina se consideró que la llanta pase a 1 pie (30cm.) del borde de la losa, debido a que en la realidad los vehículos transitan a esta distancia por la presencia de la cuneta. Ver figura E.X (anexo E) para el caso de Jocote Dulce (dimensiones convencionales), en la esquina de la losa.

Se optimizó el espesor de la losa previamente diseñado por la AASHTO versión 1998, realizando un análisis con el Programa de Elementos Finitos NYSLAB de los esfuerzos máximos que la losa puede soportar teniendo como criterio que estos no excedan el 50% del módulo de ruptura del concreto (tomado del experimento de Bate Clemmer). Los espesores óptimos de las losas, fueron determinados por los mayores esfuerzos inducidos en la losa por la combinación del gradiente de temperatura y la carga de un vehículo C2.

#### **Primera iteración: Jocote dulce, con dimensiones convencionales.**

El primer tramo a analizar fue de Jocote Dulce, con dimensiones de la losa convencionales de largo y ancho de 9.84' (pies). En esta pantalla se ubicó las posiciones de las cargas en la losa: en el centro (variable X: 4.92', variable Y: 4.92'), lateral (X: 4.92' | Y: 1'), y esquina de la losa (X: 9.84' | Y: 1'). Estos, se analizaron para un gradiente diurno y nocturno. Los resultados de los esfuerzos de la losa se reflejan en las figuras E.XV al E.XXVII, y el resumen de las mismas

en la tabla E.VI anexo E. En dicha tabla se marcaron en rojo los esfuerzos en las secciones de la losa que superaron el 50% del módulo de ruptura.

### **Segunda iteración: Jocote Dulce, con dimensiones de losas cortas.**

Con el mismo tramo de Jocote Diseño se procedió a introducir los datos con las dimensiones de losas cortas (largo y ancho de 4.92'), con el mismo espesor de 6 pulgadas. Las cargas se iteraron con el mismo patrón de carga: centro (X: 2.46' | y: 2.46'), lateral (X: 2.46 | Y: 1') y esquina (X: 4.92 | Y: 1). También se analizaron con los gradientes diurno y nocturno. Los resultados de los esfuerzos se encuentran resumidos en la tabla E.VII en anexo E. Los esfuerzos en la losa disminuyeron de manera que no superaron el 50% de su módulo de ruptura y se marcaron en amarillo cuyos valores anteriormente superaban este rango.

Con los resultados obtenidos en NYSLAB para las dimensiones convencionales con respecto al método de losa corta (con el mismo espesor), se observó que al disminuir el largo y ancho los esfuerzos disminuyeron, sin superar el 50% del módulo de ruptura. La losa soporta mayor esfuerzo durante un gradiente diurno (cuando el perfil de arriba de la losa de concreto se encuentra a mayor temperatura que la inferior). Otro factor es a posición de la carga, cuando se ubica en la esquina de la losa.

### **Tercera iteración: Jocote Dulce, con dimensiones de losas cortas y espesor de 5 pulgadas.**

En el tramo de Jocote Dulce se digitaron las mismas dimensiones para losas cortas con la variante el espesor de 5 pulgadas. El resumen de los resultados obtenidos se encuentra en la tabla E.VIII del anexo E. La disminución del espesor produjo un aumento en los esfuerzos de la losa con las mismas cargas y gradientes. Por lo tanto, el espesor óptimo corresponde a la segunda iteración.

## Memorial Sandino, Hialeah II y Hialeah III.

De las iteraciones analizadas en el programa, el espesor óptimo resultante fue el mismo que la AASHTO 98, pero con las dimensiones aplicadas al de losas cortas. Los resultados de los esfuerzos se presentan en la tabla E.IX, de cada tramo, para un gradiente diurno y con la losa cargada en la esquina. Los esfuerzos mayores se marcaron en amarillo.

A continuación se presenta el espesor optimizado de la losa por análisis de esfuerzo máximo para los cuatro tramos. Todas las losas con espesores menores a las óptimas presentaron un esfuerzo mayor al 50% del módulo de ruptura.

**Tabla 7.5.** Espesores de pavimento

### Alternativa de Espesor de Losa Optimizada por Análisis de Esfuerzo

CARRETERA	Espesores de diseño	
	Losas de Concreto (Plg.)	Base Granular (Plg.)
Jocote Dulce	6	6
Memorial Sandino	6	No tiene base
Hialeah II	6	6
Hialeah III	6	6

### 7.3.6. LIMITACIONES

El método de análisis de losas cortas (o Método mecánico empírico) consta de 3 pasos a seguir:

1. Diseñar el espesor por el método AASHTO versión 1998.
2. Análisis estructural y Optimización de espesor de losa por el programa de elementos Finitos NYSLAB.
3. Determinar el daño por fatiga con el modelo de deterioro M-EPDG.

Este último paso, se omitió debido a que no se pudo contar con la licencia del programa computacional M-EPDG que se encuentra vencida, además de ser un

software limitado a instituciones educativas para su adquisición. A pesar de ello, este último no resultó ser esencial como los 2 primeros pasos, debido a que su único objetivo se limita a predecir el daño que sufre la losa a lo largo del tiempo de diseño. Esto se compensa con la teoría de Clemmer, que al ser optimizadas las dimensiones con este parámetro, pueden recibir cargas indefinidamente.

## CAPÍTULO 8

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1.CONCLUSIONES

En referencia al conteo vehicular, observando el tránsito promedio diario anual de cada tramo, los tipos de vehículos y sus porcentajes, se comprobó que el vehículo más repetido es el C2 liviano; y se determinaron los ejes equivalentes de carga, los cuales se reflejan a continuación:

Tramos	TPDA	Vehículos	%	Destacado	ESAL
JOCOTE DULCE	195	Livianos	97.8	Camioneta	70,128
		Pesados	2.2	C2 -Carga	
MEMORIAL SANDINO	31	Livianos	8.94	Autos	67,131
		Pesados	10.6	C2 -Liviano	
HIALEAH II	26	Livianos	95.6	Autos	22,933
		Pesados	4.4	C2 -Liviano	
HIALEAH III	17	Livianos	88.2	Autos	32,745
		Pesados	11.8	C2 –Liviano T3S2	

Los resultados de los ensayos de laboratorios de las muestras extraídas de los sondeos de los tramos de Jocote Dulce, Hialeah II y Hialeah III presentaron casos de suelos finos, (según la clasificación AASHTO M-143, con el porcentaje que pasa el tamiz No 200). El en caso de Memorial Sandino, el C.B.R. resultó ser de **92%**, clasificándolo como un suelo **muy bueno para base** en el sitio. Se determinó utilizar una base para los tramos de Jocote Dulce, Hialeah II y Hialeah III, debido a que los estratos en contacto con la losa presentes en los sitios poseían una considerable cantidad de finos o un bajo C.B.R.

La base fue el resultado de la mezcla del hormigón rojo y del selecto gris provenientes de los bancos de préstamos, poseyendo un valor relativo soporte de **73%**, y clasificando como un suelo **A-1-a**, cumpliendo con los parámetros antes mencionados.

En los tramos con base, el espesor final que se especificó fue de **15 cm**. El cálculo del módulo de reacción K compuesto resultó con valores de **708pci** para Jocote dulce, **855pci** para Memorial Sandino, **704pci** para Hialeah II y **694pci** para Hialeah III, debido al C.B.R. resultante de la subrasante y la base a utilizar.

La estructura del pavimento rígido resultó con las siguientes características de la siguiente manera por sitio:

- Jocote Dulce, Hialeah II y Hialeah III



Los espesores de la losa y la base a utilizar son de 15cm. cada uno. La base que se adoptó fue del material de banco destinado al proyecto.

- Memorial Sandino



El espesor de losa y base resultaron de 15cm cada uno. La base que se propuso fue el material excavado en el sitio.

Los espesores de las losas antes expuestas son las optimizadas por medio del análisis del software NYSLAB, evaluándose con las mismas condiciones a las losas convencionales y losas cortas. Estas condiciones son: el vehículo de diseño (C2 liviano), gradientes diurnos y nocturnos, perfil térmico y sin juntas de refuerzo.

Con ayuda del programa de elementos finitos NYSLAB, se confirmaron las ventajas del uso de losas cortas con respecto a las diseñadas con el método convencional (AASHTO 98). Entre las que se pueden mencionar:

- ✓ Los esfuerzos resultantes en la losa convencional superaban el 50% del módulo de ruptura del concreto propuesto para el diseño, vulnerando la losa a posibles deterioros con el paso del tiempo, según teoría de Clemmer. Mientras que utilizando losas cortas, estos esfuerzos no excedieron este porcentaje.
- ✓ Con la reducción de los esfuerzos, se podría obtener una disminución del espesor de la losa corta con respecto a la convencional, y por ende, se

obtendría un producto más económico, pero debido a los siguientes factores no fue alcanzado:

- a. Los anchos de calzada de la mayoría de los tramos eran de 7.2m (el mayor) y 2 metros (el menor), por lo cual la losa convencional (considerada con igual largo y ancho) resultaba con dimensiones pequeñas. En efecto, al reducir dimensiones, no se logró disminuir los esfuerzos considerablemente.
- b. Los espesores obtenidos por el método AASHTO 98, resultaron ser pequeños (cerca del mínimo que estipula con 5”), por poseer ESAL’s bajos y la calidad de los suelos.

## 8.2.RECOMENDACIONES

En el diseño la estructura del pavimento resultó con un espesor de 30cm para todos los tramos en estudio, se recomienda por tramo ejecutar los siguientes aspectos:

Realizar un corte desde la superficie de 0.30 metros de profundidad en los cuatro tramos. Al suelo por debajo del corte escarificar en un espesor de 10cm., y compactarlo al 98% por el método estándar para obtener una resistencia igual o mayor que el resultante en las pruebas de laboratorio.

Colocar una base de 15 cm de espesor, utilizando como material de préstamo los bancos mezclados el hormigón rojo y selecto gris en iguales porciones, para los tramos de Jocote Dulce, Hialeah II y Hialeah III.

En el caso de Memorial Sandino, se debe utilizar el material removido en el sitio. Para los cuatro tramos, se requiere efectuar una compactación por el método modificado al 98% para conseguir la densidad deseada en esta capa.

La losa de concreto debe de tener un espesor de 15 centímetros, con una resistencia a la compresión de 4000 PSI, y un tamaño máximo no menor de agregado de  $\frac{3}{4}$ ". El largo y ancho de las losas de concreto hidráulico deben de ser de: 1.5x1.5m en Jocote Dulce, 1.8x1.8m de norte a sur en Memorial Sandino y de 1x1m de este a oeste, 1x1m en Hialeah II y 1.4x1.4m en Hialeah III. Estas losas serán sin acero de refuerzo, para que trabajen por unión de agregados.

Se recomienda un estudio en el que se definan las variables como el gradiente térmico de construcción, que ayude a predecir la temperatura de los perfiles superior e inferior de la losa a lo largo de los días, en dependencia de su geolocalización, estación del año y espesor de la losa, teniéndose así un mejor análisis de la losa en NYSLAB.



De igual manera se propone definir las propiedades físicas del concreto en cuanto al coeficiente de dilatación térmica y módulo de poisson debido a que estos valores fueron obtenidos de literatura científica.

Se recomienda realizar dosificaciones de prueba antes del colocado de la losa de concreto.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Association of State Highway and Transportation. (1998). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1998*. EEUU: Published by the Officials. ISBN1-56051-055-2.
- AASHTO. (Julio, 2008). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*. Interim Edition.
- CEMEX. (2010). *Pavimentos de Concreto CEMEX*. México: Amarillo AM.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (5a. ed.). México: Limusa.
- Hialeah al borde de lo precario. (28 de noviembre de 2012). *EL Nuevo Diario*.
- Huang, Y. H., & Universidad de Kentucky. (2004). *Análisis y Diseño de Pavimento*. Segunda Edición.
- Huang, Y. H. (2004). *Análisis y Diseño de Pavimento* (Segunda ed.). Nueva Jersey: Upper Saddle River.
- ICH. (2010). *Análisis y predicción de comportamiento semi-rígido de losas de Concreto*.
- Iturbide Coronado, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala: (s.e.).
- M., I. C. (s.f.). *Experimento Vial de la AASHO y las Guías de Diseño AASHTO*. Managua.
- McClave, s. (s.f.). *Probabilidad y Estadísticas para Ingeniería*.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (Abril de 2013). *Informe de Pavimento Proyecto: Mejoramiento de la carretera La Paz Centro–Malpaisillo (38.16 Kms)*. Obtenido de [http://www.academia.edu/10078102/Informe\\_de\\_dise%C3%B1o\\_de\\_pavimento\\_LPAZ\\_C\\_-\\_MALPAISILLO\\_19042013](http://www.academia.edu/10078102/Informe_de_dise%C3%B1o_de_pavimento_LPAZ_C_-_MALPAISILLO_19042013)
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (Octubre de 2008). *Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación*. Santiago, Chile. Obtenido de

- [http://www.normativaconstruccion.cl/documentos\\_sitio/Codigo\\_de\\_Normas\\_MINVU\\_1110165429228831373.pdf](http://www.normativaconstruccion.cl/documentos_sitio/Codigo_de_Normas_MINVU_1110165429228831373.pdf).
- Montejo Fonseca, A. (2001). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Colombia: Stella Valbuena de Fierro.
- Mora, S. (2013). *III Seminario Nacional de Gestión y Normatividad vial "Pavimentos de Concreto Hidráulico"*. Lima: FIC–UNI ASOCCEM. Obtenido de [http://www.academia.edu/8254621/3.\\_Pavimento\\_Concreto\\_Ing\\_Mora](http://www.academia.edu/8254621/3._Pavimento_Concreto_Ing_Mora)
- Nilson, H. (s.f.). *Diseño de Estructuras de Concreto*.
- Ortiz Berrocal, L. (1998). *Elasticidad*. Madrid: McGraw-Hill.
- Reyes, I. J. (1996). *Pavimento de Concreto Hidráulico en Carreteras*. México, D.F.
- Rico, A. (2005). *Ingeniería de suelos en ñas vías terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas Volumen 2*. México: LIMUSA.
- Rodríguez, M. A., & Ivan Matus Lazo. (s.f.). *Guías de Laboratorio de Mecánica de Suelos I*.
- s.a. (s.f.). *Glosario de Términos*. Obtenido de [http://www.repsol.com/pe\\_es/productos\\_y\\_servicios/productos/peasfaltos/glosario](http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/glosario).
- Salgado., M. M. (s.a.). *Desempeño de los Pavimentos de Concreto de losas cortas en varios países*.
- Texas, T. U., & Systems, C. f. (2010). *NYSLAB User's Manual*.

## ANEXOS

### ANEXO A: TABLAS PARAMÉTRICAS

#### TABLAS

**Tabla A.I.** Período de diseño por tipo de carretera de pavimento rígido.

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO
Urbana con altos volúmenes de tránsito	30 - 50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	20 -50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito	15 - 25 años
Revestidas con bajos volúmenes de tránsito	10 - 20 años

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1,993

**Tabla A.II.** Factor de distribución por dirección.

Número de carriles en ambas direcciones	LD 10
2	0.50
4	0.45
6 o más	0.40

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1,993

**Tabla A.III.** Factor de distribución por carril.

N° DE CARRIL EN CADA SENTIDO	PORCENTAJE DE W18 EN EL CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4 o más	50 - 75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1,993

**Tabla A.IV.** Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples,  $P_t = 2,0$ .

Cargas p/eje Kips)	Espesor de Losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.011	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
8	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.087	0.084	0.082	0.081	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
12	0.186	0.18	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173	0.173
14	0.353	0.346	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336	0.336
16	0.614	0.609	0.604	0.601	0.599	0.599	0.598	0.598	0.598
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1.55	1.56	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.59
22	2.32	2.32	2.35	2.38	2.4	2.41	2.41	2.41	2.42
24	3.37	3.34	3.4	3.47	3.51	3.53	3.54	3.55	3.55
26	4.76	4.69	4.77	4.88	4.97	5.02	5.04	5.06	5.06
28	6.48	6.44	6.52	6.7	6.85	6.94	7	7.02	7.04
30	8.92	8.68	8.74	8.98	9.23	9.39	9.48	9.54	9.56
32	11.9	11.5	11.5	11.8	12.2	12.4	12.6	12.7	12.7
34	15.5	15	14.9	15.3	15.8	16.2	16.4	16.6	16.7
36	20.1	19.3	19.2	19.5	20.1	20.7	21.1	21.4	21.5
38	25.6	24.5	24.3	24.6	25.4	26.1	26.7	27.1	27.4
40	32.2	30.8	30.4	30.7	31.6	32.6	33.4	34	34.4
42	40.1	38.4	37.7	38	38.9	40.1	41.3	42.1	42.7
44	49.4	47.3	46.4	46.6	47.6	49	50.4	51.6	52.7
46	60.4	57.7	56.6	56.7	57.7	59.3	61.1	62.6	63.7
48	73.2	69.9	68.4	68.4	69.4	71.2	73.3	75.3	76.8
50	88	84.1	82.2	82	83	84.9	87.4	89.8	91.7

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, pág. 6.

**Tabla A.V.** Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem,  $P_t = 2,0$ .

Carga p/eje (Kips)	Espesor de Losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
10	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.028	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.051	0.049	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.087	0.084	0.082	0.081	0.081	0.08	0.08	0.08	0.08
18	0.141	0.136	0.133	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.216	0.21	0.206	0.204	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203
22	0.319	0.313	0.307	0.305	0.304	0.303	0.303	0.303	0.303
24	0.454	0.449	0.444	0.441	0.44	0.439	0.439	0.439	0.439
26	0.629	0.626	0.622	0.62	0.618	0.618	0.618	0.618	0.618
28	0.852	0.851	0.85	0.85	0.85	0.849	0.849	0.849	0.849
30	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.48	1.48	1.49	1.5	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
34	1.9	1.9	1.93	1.95	1.96	1.97	1.97	1.97	1.97
36	2.42	2.41	2.45	2.49	2.51	2.52	2.53	2.53	2.53
38	3.04	3.02	3.07	3.13	3.17	3.19	3.2	3.2	3.21
40	3.79	3.74	3.8	3.89	3.95	3.98	4	4.01	4.01
42	4.67	4.59	4.66	4.78	4.87	4.93	4.95	4.97	4.97
44	5.72	5.59	5.67	5.82	5.95	6.03	6.07	6.09	6.1
46	6.94	6.76	6.83	7.02	7.2	7.31	7.37	7.41	7.43
48	8.36	8.12	8.17	8.4	8.63	8.79	8.88	8.93	8.96
50	10	9.69	9.72	9.98	10.27	10.49	10.62	10.69	10.73
52	11.9	11.5	11.5	11.8	12.1	12.4	12.6	12.7	12.8
54	14	13.5	13.5	13.8	14.2	14.6	14.9	15	15.1
56	16.5	15.9	15.8	16.1	16.6	17.1	17.4	17.6	17.7
58	19.3	18.5	18.4	18.7	19.3	19.8	20.3	20.5	20.7
60	22.4	21.5	21.3	21.6	22.3	22.9	23.5	23.8	24
62	25.9	24.9	24.6	24.9	25.6	26.4	27	27.5	27.7
64	29.9	28.6	28.2	28.5	29.3	30.2	31	31.6	31.9
66	34.3	32.8	32.3	32.6	33.4	34.4	35.4	36.1	36.5
68	39.2	37.5	36.8	37.1	37.9	39.1	40.2	41.1	41.6
70	44.6	42.7	41.9	42.1	42.9	44.2	45.5	46.6	47.3
72	50.6	48.4	47.5	47.6	48.5	49.9	51.4	52.6	53.5
74	57.3	54.7	53.6	53.6	54.6	56.1	57.7	59.2	60.3
76	64.6	61.7	60.4	60.3	61.2	62.8	64.7	66.4	67.7
78	72.5	69.3	67.8	67.7	68.6	70.2	72.3	74.3	75.8
80	81.3	77.6	75.9	75.7	76.6	78.3	80.6	82.8	84.7
82	90.9	86.7	84.7	84.4	85.3	87.1	89.6	92.1	94.2
84	101	97	94	94	95	97	99	102	105
86	113	107	105	104	105	107	110	113	116
88	125	119	116	116	116	118	121	125	128
90	138	132	129	128	129	131	134	137	141













Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, **pág. 7**.

**Tabla A.VI.** Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem, Pt = 2,0.

Carga p/eje (Kips)	Espesor de Losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.001	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.01	0.01	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.03	0.029	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.047	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
20	0.072	0.069	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.105	0.101	0.099	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.149	0.144	0.141	0.139	0.139	0.138	0.138	0.138	0.138
26	0.205	0.199	0.195	0.194	0.193	0.192	0.192	0.192	0.192
28	0.276	0.27	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262	0.262	0.261
30	0.364	0.359	0.354	0.351	0.35	0.349	0.349	0.349	0.349
32	0.472	0.468	0.463	0.46	0.459	0.458	0.458	0.458	0.458
34	0.603	0.6	0.596	0.594	0.593	0.592	0.592	0.592	0.592
36	0.759	0.758	0.757	0.756	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755
38	0.946	0.947	0.949	0.95	0.951	0.951	0.951	0.951	0.951
40	1.17	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.19
42	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
44	1.73	1.73	1.75	1.77	1.78	1.78	1.79	1.79	1.79
46	2.08	2.07	2.1	2.13	2.15	2.16	2.16	2.16	2.17
48	2.48	2.47	2.51	2.55	2.58	2.59	2.8	2.6	2.61
50	2.95	2.92	2.97	3.03	3.07	3.09	3.1	3.11	3.11
52	3.48	3.44	3.5	3.58	3.63	3.66	3.68	3.69	3.69
54	4.09	4.03	4.09	4.2	4.27	4.31	4.33	4.35	4.35
56	4.78	4.69	4.76	4.89	4.99	5.05	5.08	5.09	5.1
58	5.57	5.44	5.51	5.66	5.79	5.87	5.91	5.94	5.95
60	6.45	6.29	6.35	6.53	6.69	6.79	6.85	6.88	6.9
62	7.43	7.23	7.28	7.49	7.69	7.82	7.9	7.94	7.97
64	8.54	8.28	8.32	8.55	8.8	8.97	9.07	9.13	9.16
66	9.76	9.46	9.48	9.73	10.02	10.24	10.37	10.44	10.48
68	11.1	10.8	10.8	11	11.4	11.6	11.8	11.9	12
70	12.6	12.2	12.2	12.5	12.8	13.2	13.4	13.5	13.6
72	14.3	13.8	13.7	14	14.5	14.9	15.1	15.3	15.4
74	16.1	15.5	15.4	15.7	16.2	16.7	17	17.2	17.3
76	18.2	17.5	17.3	17.6	18.2	18.7	19.1	19.3	19.5
78	20.4	19.6	19.4	19.7	20.3	20.9	21.4	21.7	21.8
80	22.8	21.9	21.6	21.9	22.6	23.3	23.8	24.2	24.4
82	25.4	24.4	24.1	24.4	25	25.8	26.5	26.9	27.2
84	28.3	27.1	26.7	27	27.7	28.6	29.4	29.9	30.2
86	31.4	30.1	29.6	29.9	30.7	31.6	32.5	33.1	33.5
88	34.8	33.3	32.8	33	33.8	34.8	35.8	36.6	37.1
90	38.5	36.8	36.2	36.4	37.2	38.3	39.4	40.3	40.9

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, pág. 8.

**Tabla A.VII.** Diagrama de Cargas Permisibles (MTI).

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2		5.00	10.00					15.00
C3		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

**NOTA:** El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.  
a : Eje sencillo llanta sencilla.  
b : Eje sencillo llanta doble.

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos (MTI)



**Tabla A.VIII.** Factor ESAL'S por tipo de vehículo.

100% CARGADOS					
TIPO DE VEHICULO	PESO POR EJE (Ton-m)	PESO POR EJE (Kips)	TIPO DE EJE	FACTOR ESAL EJE	Factor ESAL's por tipo de vehículo
Autos/Camionetas/Jeep	1.00	2.20	SIMPLE	0.000380	0.000760
	1.00	2.20	SIMPLE	0.000380	
Mini Bus	2.00	4.40	SIMPLE	0.003800	0.035200
	3.50	7.70	SIMPLE	0.031400	
Bus	5.00	11.00	SIMPLE	0.136500	2.456500
	10.00	22.00	SIMPLE	2.320000	
C2 Liviano	2.50	5.50	SIMPLE	0.008750	0.145250
	5.00	11.00	SIMPLE	0.136500	
C2	5.00	11.00	SIMPLE	0.136500	2.456500
	10.00	22.00	SIMPLE	2.320000	
C3	5.00	11.00	SIMPLE	0.136500	2.649500
	16.50	36.30	DOBLE	2.513000	
T3S2	5.00	11.00	SIMPLE	0.136500	4.560500
	16.00	35.20	DOBLE	2.212000	
	16.00	35.20	DOBLE	2.212000	

Manual de Diseño de Pavimentos (MTI)

**Tabla A.IX.** Criterios para la ejecución de perforaciones en el terreno para definir un perfil de suelos.

Tipo de Zona	Espaciamiento (m)	Profundidad (m)
1. Carreteras	250 – 500	1.50
2. Pistas de aterrizaje	A lo largo de la línea central, 60 – 70 m	Cortes: -3m debajo de la rasante. Rellenos: -3m debajo de la superficie existente del suelo.
3. Otras áreas pavimentadas	1 perforación cada 1000m <sup>2</sup>	Cortes: -3m debajo de la rasante. Rellenos: -3m debajo de la superficie existente del suelo.
4. Préstamos	Pruebas suficientes para definir claramente el material	Hasta la profundidad que se propone usar como préstamo.

Fuente: Ingeniería de Pavimento para carreteras, pág. 61.

**Tabla A.X.** Clasificación de los suelos según la AASHTO.

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N° 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz N° 200)			
GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
% que pasa el Tamiz:											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del Material que pasa el tamiz N° 40											
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plasticidad	6máx	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno						Regular a Deficiente				

NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación ente lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.)  
Si el LP ≥ 30, la clasificación es A-7-6  
Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5

**Tabla A.XI.** Correlaciones de tipo de base y Modulo Elástico y Coeficiente de fricción pico.

Tipo de Base o Tratamiento de Interface	Módulo de Elasticidad (psi)	Coeficiente de fricción Pico		
		Bajo	Medio	Alto
Suelo de grano fino	3,000 - 40,000	0.5	1.3	2
Arena	10,000 - 25,000	0.5	0.8	1
Agregado	15,000 - 45,000	0.7	1.4	2
Lámina de Polietileno	NA	0.5	0.6	1
Arcilla estabilizada con cal	20,000 - 70,000	3	NA	5.3
Grava tratada con Cemento	(500 + CS)*100	8	34	63
Grava tratada con Asfalto	300,000 - 600,000	3.7	5.8	10
Concreto de limpieza sin compuesto curador	(500+CS)*100	>36		
Concreto pobre con compuesto curador de cera doble o sencillo	(500+CS)*100	3.5	-	4.5

CS=Resistencia a compresión

Guía de la AASHTO, pág. 14. Fuente: Suplemento de Guía de Diseño AASHTO 98.

**Tabla A.XII.** Índice de Serviciabilidad.

INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL	INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL
Po = 4.5 para pavimentos rígidos	Pt = 2.5 o más para caminos muy importantes
Po = 4.2 para pavimentos flexibles	Pt = 2.0 para caminos de tránsito menor

Fuente: Suplemento de Guía de Diseño AASHTO 93.

**Tabla A.XIII.** Valores típicos de Modulo de Poisson para pavimento y base.

MATERIALES	RANGO	PICO
Concreto Hidráulico	0.10-0.20	0.15
Concreto Asfáltico	0.15-0.45	0.35
Base tratada con asfalto	0.15-0.45	0.35
<b>Base tratada con Cemento</b>		
Suelo Granular	0.10-0.20	0.15
Suelo Fino	0.15-0.35	0.25
Concreto Pobre	0.10-0.2	0.15
Base y Sub-base Granular	0.30-0.40	0.35
Suelo de Subrasante	0.30-0.5	0.4

Fuente: Enciclopedia Wikipedia

**Tabla A.XIV.** Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera.

Tipo de Carretera	Niveles de Confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
<b>Autopista Regional</b>	85 – 99.9	80 – 99.9
<b>Troncales</b>	80 – 99	75 – 95
<b>Colectoras</b>	80 – 95	50 – 80

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2001

**Tabla A.XV.** Valores de Zr en función de la confiabilidad R.

<b>DESVIACION ESTANDAR NORMAL, VALORES QUE CORRESPONDEN A LOS NIVELES SELECCIONADOS DE CONFIABILIDAD</b>		
<b>CONFIABILIDAD R (%)</b>	<b>( ZR )</b>	<b>( So )</b>
50	0.000	0.35
60	-0.253	0.35
70	-0.524	0.34
75	-0.647	0.34
<b>80</b>	<b>-0.841</b>	<b>0.32</b>
85	-1.037	0.32
90	-1.282	0.31
91	-1.340	0.31
92	-1.405	0.30
93	-1.476	0.30
94	-1.555	0.30
95	-1.645	0.30
96	-1.751	0.29
97	-1.881	0.29
98	-2.054	0.29
99	-2.327	0.29
99.9	-3.090	0.29
99.99	-3.750	0.29

Fuente: Guía para Diseño de pavimentos, AASHTO 1993.

**Tabla A.XVI.** Coeficiente de Dilatación Térmica de algunos materiales.

<b>MATERIALES</b>	<b><math>\alpha(^{\circ}\text{C}^{-1})</math></b>
Concreto	$5,0 \times 10^{-5}$
Acero	$12 \times 10^{-6}$
Hierro	$12 \times 10^{-6}$
Plata	$2,0 \times 10^{-5}$
Oro	$1,5 \times 10^{-5}$
Aluminio	$23 \times 10^{-6}$
Cobre	$17 \times 10^{-6}$
Diamante	$0,9 \times 10^{-6}$
Sílice	$0,4 \times 10^{-5}$
Plomo	$29 \times 10^{-5}$

Fuente: Libro de Física General, Autor: Beatriz Álvarez y Antonio Ribeiro

## ANEXO B: VISITA TÉCNICA DE LOS SITIOS.

### FIGURAS

**Figura B.I.** Vista General del Tramo Jocote Dulce.



**Figura B.I.a.** Entrada (Norte) al tramo, vista al sur.

**Figura B.I.b.** Entrada (Sur) del tramo, vista al norte.



**(a)**



**(b)**



**Figura B.II.** Vista General del tramo Memorial Sandino.



**Figura B.II. (a).** Tramo Este-Oeste (Vista al Oeste)

**Figura B.II. (b).** Tramo Norte- Sur (Vista al Norte)

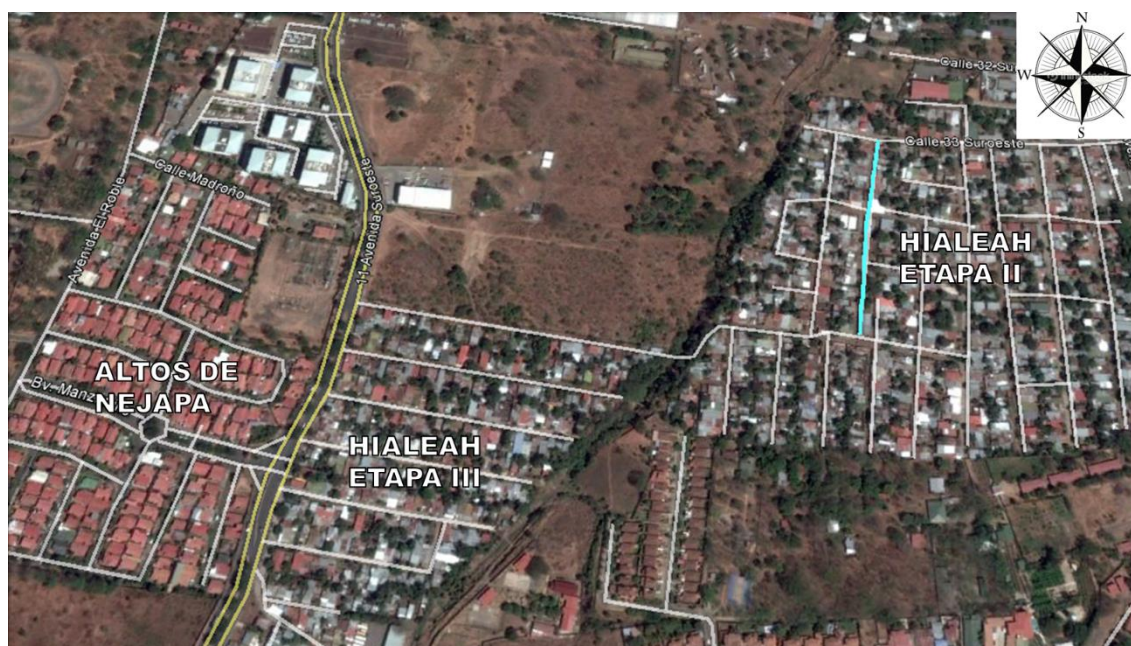


**(a)**



**(b)**

**Figura B.III.** Vista General del tramo Hialeah Etapa II.



**Figura B.III. (a).** Vista desde el centro del tramo hacia el Norte.

**Figura B.III. (b).** Vista desde el centro del tramo hacia el Sur.



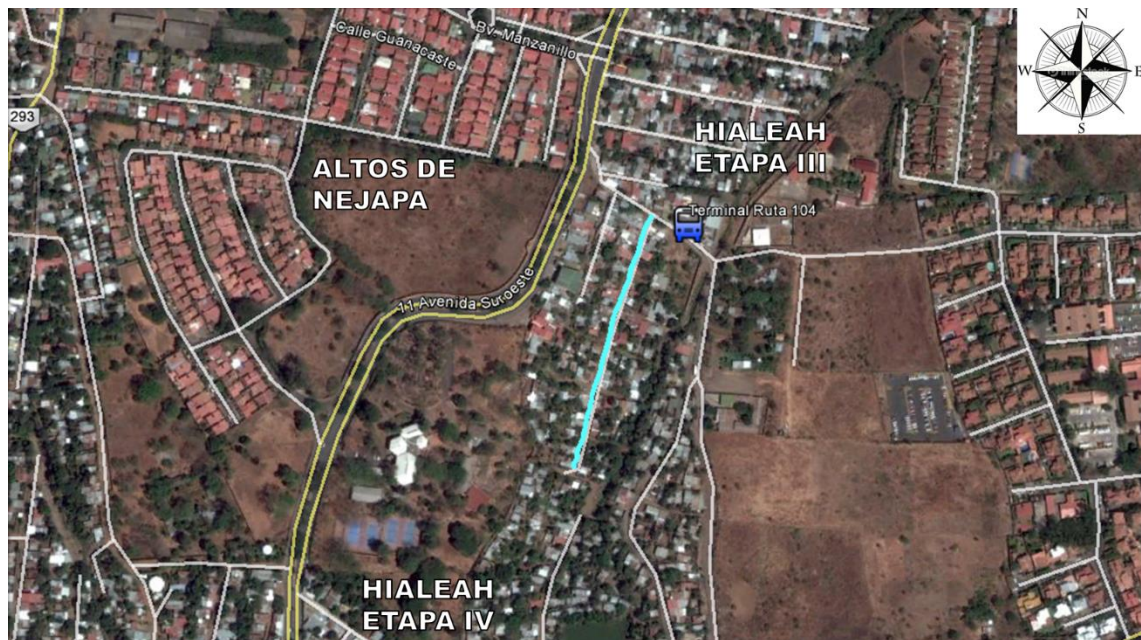
**(a)**



**(b)**



**Figura B.IV.** Vista General del tramo Hialeah Etapa III.



**Figura B.IV. (a).** Vista hacia el tope Norte del tramo.

**Figura B.IV. (b).** Casa por debajo del terreno Natural.



**(a)**



**(b)**



## ANEXO C: ESTUDIO DE TRÁNSITO

### TABLAS

**Tabla C.I.** Conteo Vehicular (12 horas) Jocote Dulce.

Barrio Jocote Dulce										
Resumen Semanal 12 horas (6:00 am – 6:00 pm)										
Julio del 2015		Variación Diaria el volumen de Transito								
Fecha	Vehículos Livianos				Pesado Pasajeros			Pesados De Carga		
	Motos	Autos	Jeeps	Camioneta	Mic. Bus	MB>15Pasj.	Bus	C2Lv	C2>5Tn	T3S2
Domingo 12/07/15	60	30	10	46	0	2	0	5	8	0
Lunes 13/07/15	45	45	7	50	2	0	0	2	0	2
Martes 14/07/15	45	28	7	46	0	0	2	0	2	0
Miercoles 15/07/15	50	29	5	44	0	2	0	2	7	0
Jueves 16/07/15	55	46	10	38	2	0	2	0	0	2
viernes 17/07/15	60	40	12	50	0	0	0	0	0	0
Sabado 18/07/15	48	30	10	47	2	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>363</b>	<b>248</b>	<b>61</b>	<b>321</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>17</b>	<b>4</b>

Fuente: Elaborado por autores.

**Tabla C.II.** Conteo Vehicular (12 horas) Memorial Sandino.

Barrio Memorial Sandino										
Resumen Semanal 12 horas (6:00 am – 6:00 pm)										
Julio del 2015		Variación Diaria el volumen de Transito								
Fecha	Vehículos Livianos				Pesado Pasajeros			Pesados De Carga		
	Motos	Autos	Jeeps	Camioneta	Mic. Bus	MB>15Pasj.	Bus	C2Lv	C2>5Tn	T3S2
Domingo 12/07/15	10	4	0	2	0	0	0	2	0	0
Lunes 13/07/15	8	7	0	2	0	0	0	0	0	2
Martes 14/07/15	5	5	2	0	0	2	0	0	0	0
Miercoles 15/07/15	9	3	0	2	0	2	0	2	0	0
Jueves 16/07/15	3	2	0	5	0	0	0	0	0	2
viernes 17/07/15	5	9	0	3	0	2	0	0	0	0
Sabado 18/07/15	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>4</b>

Fuente: Elaborado por autores.

**Tabla C.III. Conteo Vehicular (12 horas) Hialeah II.**

Barrio Hialeah II										
Resumen Semanal 12 horas (6:00 am – 6:00 pm)										
Julio del 2015		Variación Diaria el volumen de Transito								
Fecha		Vehículos Livianos			Pesado Pasajeros			Pesados De Carga		
	Motos	Autos	Jeeps	Camioneta	Mic. Bus	MB>15Pasj.	Bus	C2Lv	C2>5Tn	T3S2
Domingo 12/07/15	12	3	0	2	0	0	0	2	0	1
Lunes 13/07/15	8	3	0	2	0	0	0	0	0	0
Martes 14/07/15	6	3	0	0	0	2	0	0	0	0
Miercoles 15/07/15	7	3	0	2	0	2	0	2	0	0
Jueves 16/07/15	8	4	0	5	0	0	0	0	0	2
viernes 17/07/15	5	2	0	3	0	1	0	0	0	0
Sabado 18/07/15	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	51	20	0	14	0	5	0	4	0	3

Fuente: Elaborado por autores.

**Tabla C.IV. Conteo Vehicular (12 horas) Hialeah III.**

Barrio Hialeah III										
Resumen Semanal 12 horas (6:00 am – 6:00 pm)										
Julio del 2015		Variación Diaria el volumen de Transito								
Fecha		Vehículos Livianos			Pesado Pasajeros			Pesados De Carga		
	Motos	Autos	Jeeps	Camioneta	Mic. Bus	MB>15Pasj.	Bus	C2Lv	C2>5Tn	T3S2
Domingo 12/07/15	8	2	0	3	0	0	0	2	0	2
Lunes 13/07/15	8	2	0	2	0	0	0	0	0	0
Martes 14/07/15	6	2	0	0	0	0	0	2	0	0
Miercoles 15/07/15	7	3	0	2	2	0	0	0	0	0
Jueves 16/07/15	3	2	0	2	0	0	0	0	0	2
viernes 17/07/15	3	2	0	3	0	0	0	0	0	0
Sabado 18/07/15	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	38	15	0	12	2	0	0	4	0	4

Fuente: Elaborado por autores.

**Tabla C.V.** Conteo Vehicular de los cuatro tramos, con tránsito nocturno y cálculo del factor de ajuste.

Tramo	Jocote Dulce			Memorial Sandino			Hialeah II			Hialeah III		
Tipo Vehículo	Jueves 16 de Julio 2015			Miércoles 15 de Julio 2015			Jueves 16 de Julio 2015			Miércoles 15 de Julio 2015		
	12h	24h	factor	12h	24h	factor	12h	24h	factor	12h	24h	factor
<b>Motos</b>	55	70	1.27	9	12	1.33	8	15	1.88	7	10	1.43
<b>Autos</b>	46	63	1.37	3	6	2	4	6	1.5	3	5	1.67
<b>Jeeps</b>	10	10	1	0	0	--	0	0	--	0	0	--
<b>Camioneta</b>	38	45	1.18	2	5	2.5	5	8	1.6	2	3	1.5
<b>Microbús</b>	2	2	1	0	0	--	0	0	--	2	2	1
<b>Microbús&gt;15Pasj.</b>	0	0	--	2	2	1	0	0	--	0	0	--
<b>Autobús</b>	2	3	1.5	0	0	--	0	0	--	0	0	--
<b>C2 Liv.</b>	0	0	--	3	6	2.5	0	0	--	0	0	--
<b>C2 &gt; 5 ton</b>	0	0	--	0	0	--	0	0	--	0	0	--
<b>T3S2</b>	0	0	--	3	3	1	0	0	--	3	3	1

Fuente: Elaborado por autores.

**Tabla C.VI.** Tránsito 24 horas y Tránsito Semanal (TS) con factor de ajuste, cuatro tramos.

TRAMOS		JOCOTE DULCE			MEMORIAL SANDINO			HIALEAH II			HIALEAH III		
Vehículos		Total	Factor ajuste.	TS	Total	Factor ajuste.	TS	Total	Factor ajuste.	TS	Total	Factor ajuste.	TS
Vehículos Livianos	Motos	363	1.27	<b>461</b>	40	1.33	<b>53.2</b>	51	1.88	<b>96</b>	38	1.43	<b>54</b>
	Autos	248	1.37	<b>340</b>	40	2.00	<b>80</b>	20	1.50	<b>30</b>	15	1.67	<b>25</b>
	Jeeps	61	1.00	<b>61</b>	2	n.a	<b>2</b>	0	n.a.	<b>0</b>	0	n.a.	<b>0</b>
	Camioneta	321	1.18	<b>379</b>	14	2.50	<b>35</b>	14	1.60	<b>22</b>	12	1.50	<b>18</b>
	Mic. Bus	6	1.00	<b>6</b>	0	n.a	<b>0</b>	0	n.a.	<b>0</b>	2	1.00	<b>2</b>
Pesado de Pasajeros	MB>15Pasj.	4	n.a.	<b>4</b>	6	1.00	<b>6</b>	5	n.a.	<b>5</b>	0	n.a.	<b>0</b>
	Bus	4	1.50	<b>6</b>	0	n.a	<b>0</b>	0	n.a.	<b>0</b>	0	n.a.	<b>0</b>
	C2Lv	9	n.a	<b>9</b>	4	3.00	<b>12</b>	4	n.a.	<b>4</b>	4	n.a.	<b>4</b>
Pesados De Carga	C2>5Tn	17	n.a	<b>17</b>	0	n.a	<b>0</b>	0	n.a.	<b>0</b>	0	n.a.	<b>0</b>
	T3S2	4	n.a	<b>4</b>	4	1.00	<b>4</b>	3	n.a.	<b>3</b>	4	1.00	<b>4</b>
<b>TOTAL</b>		<b>1037</b>		<b>1287</b>	<b>110</b>		<b>192.2</b>	<b>97</b>		<b>160</b>	<b>75</b>		<b>107</b>

Fuente: Elaborado por autores.

**Tabla C.VII.** Tránsito Promedio Diario Semanal cuatro tramos.

TRAMOS		JOCOTE DULCE		MEMORIAL SANDINO		HIALEAH II		HIALEAH III	
Vehículos		TS	TPDS	TS	TPDS	TS	TPDS	TS	TPDS
Vehículos Livianos	Motos	461	66	53.2	8	96	14	54	8
	Autos	340	49	80	11	30	4	25	4
	Jeeps	61	9	2	0	0	0	0	0
	Camioneta	379	54	35	5	22	3	18	3
	Mic. Bus	6	1	0	0	0	0	2	0
Pesado de Pasajeros	MB>15Pasj.	4	1	6	1	5	1	0	0
	Bus	6	1	0	0	0	0	0	0
	C2Lv	9	1	12	2	4	1	4	1
Pesados De Carga	C2>5Tn	17	2	0	0	0	0	0	0
	T3S2	4	1	4	1	3	0	4	1
TOTAL		1287	185	192	28	160	23	107	17

Fuente: Elaborado por autores.

**Tabla C.VIII.** Determinación del TPDA a partir del TPDS, tramo Jocote Dulce.

Barrio Jocote Dulce												
Resumen Semanal 12 horas (6:00 am – 6:00 pm)												
Julio del 2015		Variación Diaria el volumen de Transito										
Fecha		Vehículos Livianos				Pesado Pasajeros			Pesados De Carga			TDi
		Motos	Autos	Jeeps	Camioneta	Mic. Bus	MB>15Pasj.	Bus	C2Lv	C2>5Tn	T3S2	
Domingo 12/07/15		60	30	10	46	0	2	0	5	8	0	161
Lunes 13/07/15		45	45	7	50	2	0	0	2	0	2	153
Martes 14/07/15		45	28	7	46	0	0	2	0	2	0	130
Miercoles 15/07/15		50	29	5	44	0	2	0	2	7	0	139
Jueves 16/07/15		55	46	10	38	2	0	2	0	0	2	155
viernes 17/07/15		60	40	12	50	0	0	0	0	0	0	162
Sabado 18/07/15		48	30	10	47	2	0	0	0	0	0	137
TS <sub>12hrs</sub>		363	248	61	321	6	4	4	9	17	4	1037
Factor <sub>ajust.</sub>		1.27	1.37	1	1.18	1	n.a.	1.5	n.a.	n.a.	n.a.	
TS		461	340	61	379	6	4	6	9	17	4	1287
TPDS		66	49	9	54	1	1	1	1	2	1	185
%		35.7	26.5	4.9	29.2	0.5	0.5	0.5	0.5	1.1	0.5	100
<div> <div>n = 7 n-1 = 6</div> <div>S = 13 N = 365</div> <div>σ = 5 k = 1.9</div> <div>σ*k = 10.0</div> </div>												
TPDA		70	52	9	57	1	1	1	1	2	1	195

Fuente: Elaborado por autores.

**Tabla C.IX.** Determinación del TPDA a partir del TPDS, tramo Memorial Sandino.

Barrio Memorial Sandino												
Resumen Semanal 12 horas (6:00 am – 6:00 pm)												
Julio del 2015		Variación Diaria el volumen de Transito										
Fecha	Vehículos Livianos				Pesado Pasajeros		Pesados De Carga				TDi	(TDi- TS <sub>12hrs</sub> /7) <sup>2</sup>
	Motos	Autos	Jeeps	Camioneta	Mic. Bus	MB>15Pasj.	Bus	C2Lv	C2>5Tn	T3S2		
Domingo 12/07/15	10	4	0	2	0	0	0	2	0	0	18	4
Lunes 13/07/15	8	7	0	2	0	0	0	0	0	2	19	9
Martes 14/07/15	5	5	2	0	0	2	0	0	0	0	14	4
Miercoles 15/07/15	9	3	0	2	0	2	0	2	0	0	18	4
Jueves 16/07/15	3	2	0	5	0	0	0	0	0	2	12	16
viernes 17/07/15	5	9	0	3	0	2	0	0	0	0	19	9
Sabado 18/07/15	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	36
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>110</b>	<b>82</b>
Factor <sub>ajust.</sub>	1.33	2	n.a.	2.5	n.a.	1	n.a.	3	n.a.	1		
<b>TS</b>	53	80	2	35	0	6	0	12	0	4	<b>192</b>	
<b>TPDS</b>	8	11	0	5	0	1	0	2	0	1	<b>28</b>	
<b>%</b>	28.6	39.3	0.0	17.9	0.0	3.6	0.0	7.1	0.0	3.6	100	
<div> <div>n = 7</div> <div>n-1 = 6</div> </div> <div> <div>S = 4</div> <div>N = 365</div> </div> <div> <div>σ = 1</div> <div>k = 1.9</div> </div> <div> <div>σ*k = 3</div> </div>												
<b>TPDA</b>	9	12	0	5	0	1	0	3	0	1	<b>31</b>	

Fuente: Elaborado por autores.

**Tabla C.X.** Determinación del TPDA a partir del TPDS, tramo Hialeah II.

Barrio Hialeah II												
Resumen Semanal 12 horas (6:00 am – 6:00 pm)												
Julio del 2015		Variación Diaria el volumen de Transito										
Fecha	Vehículos Livianos				Pesado Pasajeros		Pesados De Carga				TDi	(TDi- TS <sub>12hrs</sub> /7) <sup>2</sup>
	Motos	Autos	Jeeps	Camioneta	Mic. Bus	MB>15Pasj.	Bus	C2Lv	C2>5Tn	T3S2		
Domingo 12/07/15	12	3	0	2	0	0	0	2	0	1	20	36
Lunes 13/07/15	8	3	0	2	0	0	0	0	0	0	13	1
Martes 14/07/15	6	3	0	0	0	2	0	0	0	0	11	9
Miercoles 15/07/15	7	3	0	2	0	2	0	2	0	0	16	4
Jueves 16/07/15	8	4	0	5	0	0	0	0	0	2	19	25
viernes 17/07/15	5	2	0	3	0	1	0	0	0	0	11	9
Sabado 18/07/15	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	49
<b>Total</b>	<b>51</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>97</b>	<b>133</b>
Factor <sub>ajust.</sub>	1.88	1.5	n.a.	1.6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
<b>TS</b>	96	30	0	22	0	5	0	4	0	3	<b>160</b>	
<b>TPDS</b>	14	4	0	3	0	1	0	1	0	0	<b>23</b>	
<b>%</b>	60.9	17.4	0.0	13.0	0.0	4.3	0.0	4.3	0.0	0.0	100	
<div> <div>n = 7</div> <div>n-1 = 6</div> </div> <div> <div>S = 5</div> <div>N = 365</div> </div> <div> <div>σ = 2</div> <div>k = 1.9</div> </div> <div> <div>σ*k = 3</div> </div>												
<b>TPDA</b>	16	5	0	3	0	1	0	1	0	0	<b>26</b>	

Fuente: Elaborado por autores.

**Tabla C.XI.** Determinación del TPDA a partir del TPDS, tramo Hialeah III.

Barrio Hialeah III												
Resumen Semanal 12 horas (6:00 am – 6:00 pm)												
Julio del 2015		Variación Diaria el volumen de Transito										
Fecha	Vehículos Livianos				Pesado Pasajeros		Pesados De Carga				TDi	(TDi- TS <sub>12hrs</sub> /7) <sup>2</sup>
	Motos	Autos	Jeeps	Camioneta	Mic. Bus	MB>15Pasj.	Bus	C2Lv	C2>5Tn	T3S2		
Domingo 12/07/15	8	2	0	3	0	0	0	2	0	2	17	36
Lunes 13/07/15	8	2	0	2	0	0	0	0	0	0	12	1
Martes 14/07/15	6	2	0	0	0	0	0	2	0	0	10	1
Miercoles 15/07/15	7	3	0	2	2	0	0	0	0	0	14	9
Jueves 16/07/15	3	2	0	2	0	0	0	0	0	2	9	4
viernes 17/07/15	3	2	0	3	0	0	0	0	0	0	8	9
Sabado 18/07/15	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	36
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>75</b>	<b>96</b>
Factor <sub>ajust.</sub>	1.43	1.67	n.a.	1.5	1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1		
TS	54	25	0	18	2	0	0	4	0	4	107	
TPDS	8	4	0	3	0	0	0	1	0	1	17	
%	47.1	23.5	0.0	17.6	0.0	0.0	0.0	5.9	0.0	5.9	100	
$n = 7$ $n-1 = 6$ $S = 4$ $N = 365$ $\sigma = 1$ $k = 1.9$ $\sigma^*k = 3$												
<b>TPDA</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	

Fuente: Elaborado por autores.

**Tabla C.XII.** Tránsito de Diseño (TD), cuatro tramos.

Tramo		Jocote Dulce		Memorial Sandino		Hialeah II		Hialeah III	
Vehículos		TPDA	TD	TPDA	TD	TPDA	TD	TPDA	TD
<b>Vehículos Livianos</b>	Autos	52	242419	12	55943	5	23310	5	23310
	Jeeps	9	41957	0	0	0	0	0	0
	Camioneta	57	265728	5	23310	3	13986	4	18648
	Micro Bus	1	4662	0	0	0	0	0	0
<b>Pesado de Pasajeros</b>	MB>15Pasj.	1	4662	1	4662	1	4662	0	0
	Bus	1	4662	0	0	0	0	0	0
	C2Lv	1	4662	3	13986	1	4662	1	4662
<b>Pesados De Carga</b>	C2>5Tn	2	9324	0	0	0	0	0	0
	T3S2	1	4662	1	4662	0	0	1	4662
<b>TOTAL</b>		<b>125</b>	<b>582738</b>	<b>22</b>	<b>102562</b>	<b>10</b>	<b>46619</b>	<b>11</b>	<b>51281</b>

Fuente: Elaborado por autores

**Tabla C.XIII.** ESAL's de Diseño, cuatro barrios.

Tramo			Jocote Dulce		Memorial Sandino		Hialeah II		Hialeah III	
Vehículos		Factor ESAL's	Tránsito de diseño	ESAL's de Diseño	Tránsito de diseño	ESAL's de Diseño	Tránsito de diseño	ESAL's de Diseño	Tránsito de diseño	ESAL's de Diseño
<b>Vehículos Livianos</b>	Autos	0.00076	242419	184	55943	43	23310	18	23310	18
	Jeeps	0.00076	41957	32	0	0	0	0	0	0
	Camioneta	0.00076	265728	202	23310	18	13986	11	18648	14
	Mic. Bus	0.0352	4662	164	0	0	0	0	0	0
<b>Pesado de Pasajeros</b>	MB>15Pasj.	2.4565	4662	11452	4662	11452	4662	11452	0	0
	Bus	0.14525	4662	677	0	0	0	0	0	0
	C2Lv	2.4565	4662	11452	13986	34357	4662	11452	4662	11452
<b>Pesados De Carga</b>	C2>5Tn	2.6495	9324	24704	0	0	0	0	0	0
	T3S2	4.5605	4662	21261	4662	21261	0	0	4662	21261
<b>ESAL'S TOTAL</b>			582738	<b>70128</b>	102562	<b>67131</b>	46619	<b>22933</b>	51281	<b>32745</b>

Fuente: Elaborado por los autores.

## ANEXO D: ESTUDIOS DE SUELOS

### TABLAS

**Tabla D.I.** Cantidad y tipos de ensayos.

CANTIDAD	TIPO DE ENSAYO	DESIGNACIÓN
		AASHTO
27	Prueba de Análisis Granulométrico de los Suelos	T-88
27	Determinación del Límite Líquido de los Suelos	T-89
27	Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos	T-90
6	Ensaye del Próctor Modificado	T-180
6	Ensaye del Valor Relativo Soporte o Relación de Soporte de California (C.B.R.)	T-193



**Tabla D.II.** Resultados de los ensayos de Granulometría, Límites, C.B.R. y Clasificación.

LUGAR	Sondeo	Coordenadas	Muestra N°	Estación	Estrato			Análisis granulométrico (% que pasa)								Límites			Clasif. AASHTO M-145	Proctor Modificado		CBR 95 %
					Inicio	Fin	Espesor	3"	2"	1"	3/4"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	IP	LL	LP		Hum. Ópt.	Densidad seca máx. Kg/m³	
					cm	cm	cm	75 mm	50 mm	24.4 mm	19.1mm	4.75 mm	2 mm	0.41 mm	0.074 mm							
JOCOTE DULCE	N° 1	E 0579096 N 1337633	M1	0+050 B/IZQ	0	45	45	100	100	98	95	86	57	22	16	3	35	32	A-1-b (0)			
			M2		45	80	35	100	100	98	98	87	68	40	33	0	0	0	A-2-4	25.2	1568	48
			M3		80	150	70	100	100	99	98	74	58	38	23	0	0	0	A-1-b			
	N° 2	E 0579061 N 1337512	M1	0+150 B/IZQ	0	150	150	100	100	100	100	87	80	51	32	8	38	30	A-2-4 (0)	25.2	1568	48
MEMORIAL SANDINO	N° 1	E 0577209 N 1339153	M1	0+060 B/DER	0	35	35	100	100	100	100	89	75	29	12	0	0	0	A-1-b			
			M2		35	120	85	100	100	99	98	88	77	36	15	0	0	0	A-1-b	19.3	1720	92
			M3		120	150	30	100	100	100	100	92	80	37	18	0	0	0	A-1-b			
	N° 2	E 0577150 N 1339148	M1	0+120 B/IZQ	0	13	13	100	100	96	91	61	53	33	14	0	0	0	A-1-b			
			M2		13	80	67	100	100	97	95	76	61	36	16	0	0	0	A-1-b	19.3	1720	92
			M3		80	150	70	100	100	90	87	64	53	27	8	0	0	0	A-1-b (0)			
HIALEAH II	N° 1	E 0578515 N 1340033	M1	0+050 B/IZQ	0	25	25	100	93	89	87	68	59	32	9	5	31	26	A-1-b (0)			
			M2		25	90	65	100	100	100	100	100	87	55	30	16	47	31	A-2-7 (1)	24.5	1247	13
			M3		90	130	40	100	100	99	98	84	72	31	7	0	0	0	A-1-b			
			M4		130	150	20	100	100	100	100	71	66	56	40	0	0	0	A-4			
	N° 2	E 0578479 N 1339887	M1	0+160 B/IZQ	0	10	10	100	100	100	99	80	73	54	39	14	40	26	A-6 (2)			
			M2		10	95	85	100	100	98	92	72	63	52	21	21	31	10	A-2-4 (0)	14.1	1882	60
			M3		95	150	55	100	100	100	100	92	84	61	44	13	44	31	A-7-5 (3)			
HIALEAH III	N° 1		M1	0+060 B/DER	0	15	15	100	100	100	99	90	72	37	14	0	0	0	A-1-b			
			M2		15	85	70	100	100	100	100	100	94	61	33	0	0	0	A-2-4	20.5	1184	30
			M3		85	150	65	100	100	100	100	93	86	66	46	11	39	28	A-6 (3)			
	N° 2		M1	0+200 B/IZQ	0	40	40	100	100	100	100	100	91	61	36	9	32	23	A-4 (0)			
			M2		40	120	80	100	100	100	100	100	95	69	45	0	0	0	A-4	21.5	1375	12
			M3		120	150	30	100	100	100	100	87	79	61	40	0	0	0	A-4			
	N° 3		M1	0+280 B/DER	0	10	10	100	100	100	98	91	86	57	37	13	44	31	A-7-5 (1)			
			M2		10	80	70	100	100	100	100	100	86	74	52	8	35	27	A-6 (2)	21.5	1375	12
M3			80		110	30	100	100	100	100	100	94	75	61	11	46	35	A-7-5 (6)				
N° 3		M4		110	150	40	100	100	100	100	84	54	35	0	0	0	A-2-4 (0)	20.5	1184	30		

Fuente: elaborado por autores.

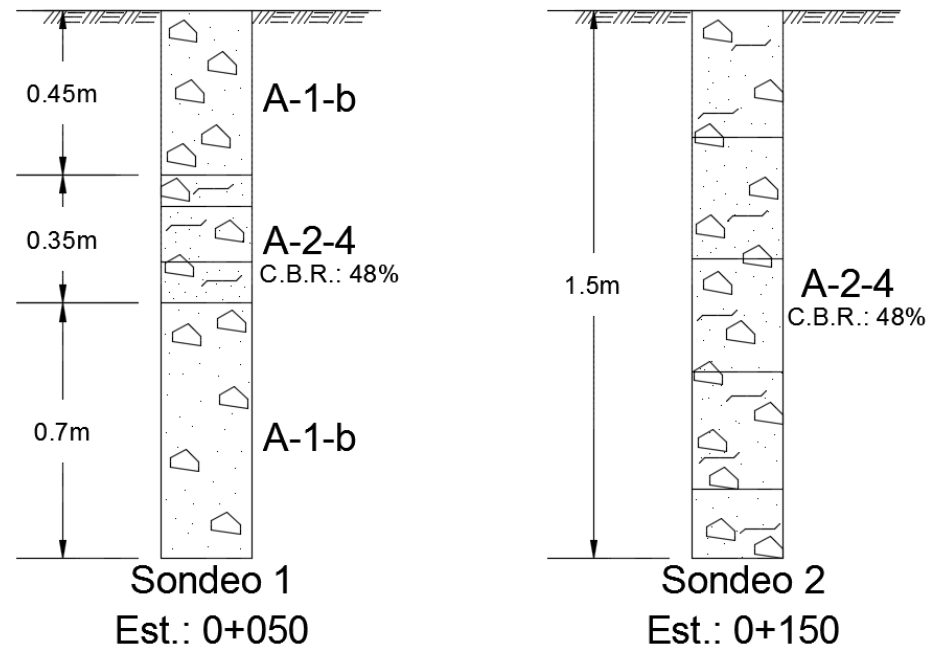
**Tabla D.III.** Estudio de suelo del Material de base.

Mezcla de Bancos de Materiales procedentes de XILOÁ, Sur oeste de la Ciudad de Managua				
GRANULOMETRIA % QUE PASA				
No. Tamiz	Hormigón rojo Banco XILOÁ	Selecto gris Banco XILOÁ	Mezcla: 50 % Hormigón 50% Selecto	Especificacion ASTM D1241 (Grad. C)
2"				
1 1/2"				
1"	100		100	100
3/4"	94		97	-
1/2"	85	100	90	-
3/8"	77	96	81	50-85
No. 4	52	83	65	35-65
No. 10	37	73	49	25-50
No. 40	19	41	29	15-30
No. 200	10	14	12	5-10
<b>% Particulas</b>				
% Grava	48	17	35	
% Arena	42	69	53	
% Finos	10	14	12	
<b>Limite Liquido, %</b>	NP	NP	NP	25 MAX
<b>Indice de Plasticidad, %</b>	NP	NP	NP	6 MAX
<b>Clasificacion HRB :</b>	A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)	
<b>Clasificacion SUCS :</b>	GW-GM	SM	SW-SM	
<b>CBR %</b>				
90%			52	
95%			73	50 MIN
100%			95	80 MIN
<b>PVS max. (kg/m3)</b>			2,042	
<b>Humedad Optima %</b>			8.7	
<b>Descripcion</b>	Grava con limo y Arena color rojo	Arena limosa con grava color gris	Arena con limo y grava color gris rojizo	

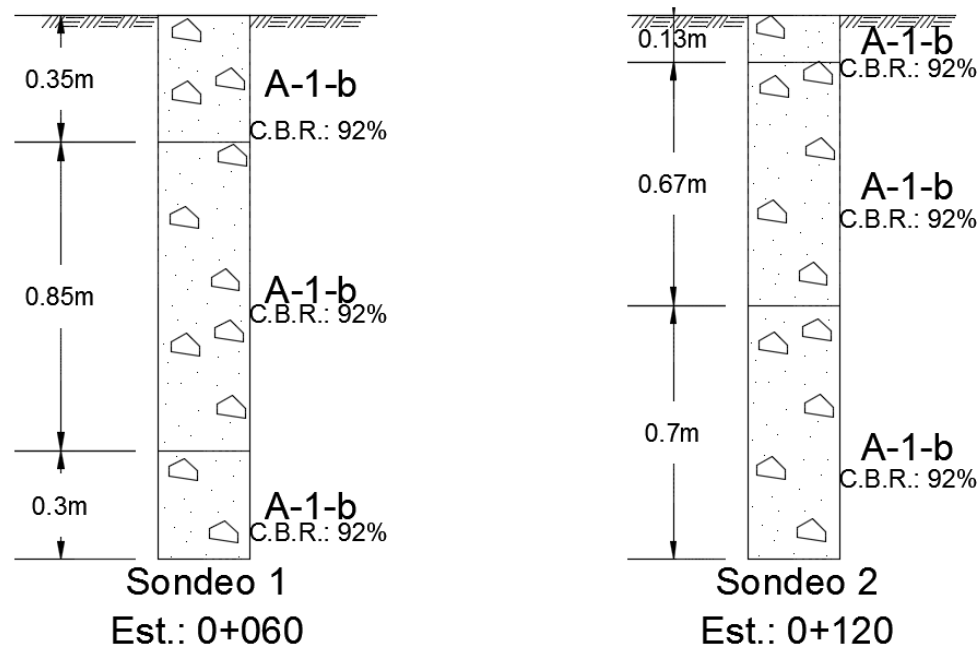
Proporcionado por laboratorio INSUMA

FIGURAS

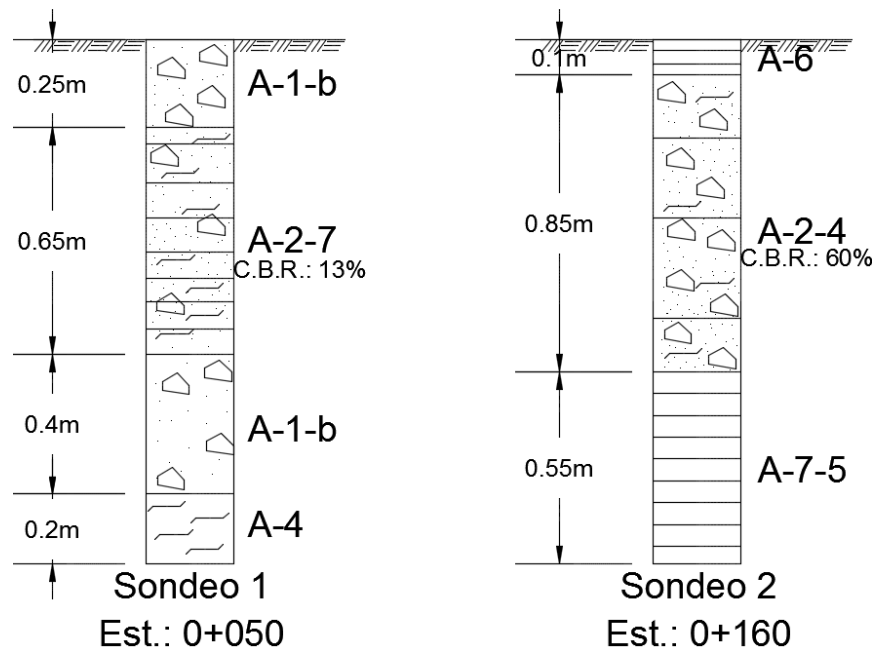
**Figura D.I.** Estratificación de suelos y su clasificación (Jocote Dulce).



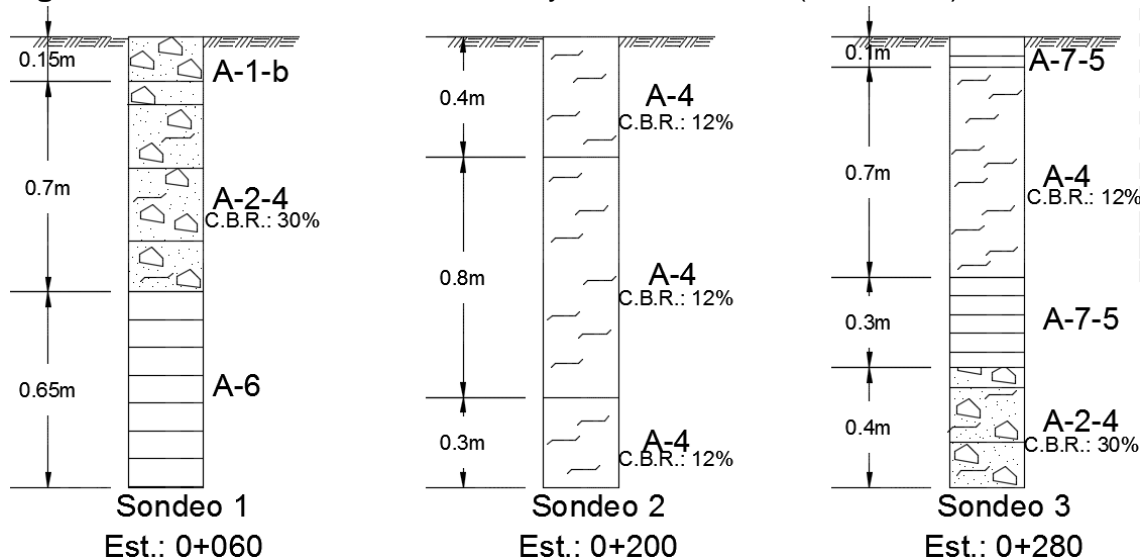
**Figura D.II.** Estratificación de suelos y su clasificación (Memorial Sandino).



**Figura D.III.** Estratificación de suelos y su clasificación (Hialeah II).



**Figura D.IV.** Estratificación de suelos y su clasificación (Hialeah III).



## ANEXO E: DISEÑO DE PAVIMENTO

### TABLAS

**Tabla E.I.** Tabla resumen C.B.R. base y sub-rasante.

Tramo	C.B.R. de base (%)	C.B.R. de subrasante (%)	Espesor promedio C.B.R. subrasante (m)
Jocote Dulce	73	48	0.78
Memorial Sandino	92	92	1.35
Hialeah II	73	37	0.63
Hialeah III	73	16	0.75

**Tabla E.II.** Cálculo del módulo de Reacción de la sub-rasante para los 4 tramos.

TRAMO	SUB-RASANTE		K <sub>0</sub> (Kgf/cm <sup>3</sup> )
	C.B.R.	Espesor (m)	
Jocote Dulce	48	0.78	132.56
Memorial Sandino	92	1.35	215.87
Hialeah II	37	0.63	109.99
Hialeah III	16	0.75	66.33

**Tabla E.III.** Cálculo del módulo de Reacción de la base para los 4 tramos.

TRAMO	BASE		K <sub>1</sub> (Kgf/cm <sup>3</sup> )
	C.B.R.	Espesor (m)	
Jocote Dulce	73	0.15	181.25
Memorial Sandino	92	0.15	215.87
Hialeah II	73	0.15	181.25
Hialeah III	73	0.15	181.25

**Tabla E.IV.** Cálculo del módulo de Reacción K compuesto para los 4 tramos.

TRAMO	K <sub>1</sub> (Kgf/cm <sup>3</sup> )	K <sub>0</sub> (Kgf/cm <sup>3</sup> )	K <sub>c</sub> (Kgf/cm <sup>3</sup> )	K <sub>c</sub> (PCI)
Jocote Dulce	181.25	132.56	192.37	708
Memorial Sandino	215.87	215.87	232.08	855
Hialeah II	181.25	109.99	191.1	704
Hialeah III	181.25	66.33	188.34	694

**Tabla E.V.** Resumen de variables de Diseño de Pavimento requeridos por la AASHTO 98, cuatro tramos.

VARIABLES	NOMENCLATURA	UNIDADES DE MEDIDA	Tramos			
			Jocote Dulce	Memorial Sandino	Hialeah II	Hialeah III
Espesor De Losa	D	Plg	Por determinar			
Módulo De Elasticidad de la Losa de Concreto	Ec	Psi	3,604,996.53			
Coeficiente de Poisson Para Concreto	$\mu$		0.15			
Modulo Elástico Efectivo de Soporte de la Sub-base	Kc	Psi/Pulg	708	855	704	685
Módulo De Elasticidad De La Base	Eb	Psi	30,000			
Coeficiente de Fricción Entre la losa y la Base.	f	Ver Tabla A.XI, Anexo A	1.4			
Espaciamiento de Juntas	L	pie	5.905			
Espesor de Base	Hb	Plg	6			
Velocidad anual del viento	WIND	Mph	6.49			
Temperatura anual	TEMP	°F	80.24			
Precipitación anual	PRECIP	Plg	47.4			
Índice de Serviciabilidad Inicial	P <sub>1</sub>		4.5			
Índice de Serviciabilidad Final	P <sub>2</sub>		2			
Esfuerzo a la flexión	S'c'	Psi	632.46			
Factor de ajuste de soporte de borde	E		1			
Confiabilidad	R		80%			
Desviación Estándar del Sistema	So		0.32			
Ejes de Daño	W <sub>t18</sub>	ESAL`s	70,128	67,131	22,933	32,745

Fuente: Elaborado por autores.

**Tabla E.VI.** Esfuerzos en la losa, tramo Jocote Dulce, dimensión AASHTO, espesor 6 pulgadas.

POSICIÓN	Posición Central				Posición Lateral				Posición Esquinera			
GRADIENTE	Gradiente Positivo		Gradiente Negativo		Gradiente Positivo		Gradiente Negativo		Gradiente Positivo		Gradiente Negativo	
COORDENADAS EN NYSLAB	X/Y	4.92/4.92	X/Y	4.92/4.92	X/Y	4.92/1	X/Y	4.92/1	X/Y	9.84/1	X/Y	9.84/1
ESFUERZO Y DEFLEXION	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo
Deflexión vertical (mils)	0.0011	-0.0092	0.0156	-0.0089	0.0003	0.0093	0.0126	-0.0088	0.0012	-0.0136	0.0138	-0.0067
Esfuerzo de arriba de flexión longitudinal(psi)	60.8	-269.03	256.66	-92.33	14.56	-231.3	277.29	-115.31	58.56	-399.41	226.78	-53.94
Esfuerzo de arriba de flexión lateral(psi)	23.79	-264.02	167.25	-93.29	9.7	-213.02	157.4	-115.94	26.13	-259	142.32	-103.24
Esfuerzo arriba cortante(psi)	44.64	-43.52	51.17	-55.16	29.22	-29.01	58.44	-49.68	88.99	-100.74	43.97	-43.2
Esfuerzo de arriba principal 1 (psi)	37.44	-262.05	259.84	-90.96	19.57	-212.48	277.67	-113.77	83.45	-225.97	228.85	-52.47
Esfuerzo de arriba principal 2 (psi)	7.34	-269.83	113.71	-94.66	2.85	-231.39	132.42	-117.48	16.57	-397.59	121.83	-104.49
Esfuerzo de arriba principal de dirección (psi)	84.6	-77.42	86.07	-73.49	90.82	-82.97	110.48	-92.19	117.88	-81.24	108.35	-92.19
Esfuerzo de abajo de flexión longitudinal(psi)	269.03	-60.8	92.33	-256.66	231.3	-14.56	115.31	-277.29	399.41	-58.56	53.94	-226.78
Esfuerzo de abajo de flexión lateral(psi)	264.02	-23.79	93.29	-167.25	213.02	-9.7	115.94	-157.41	259	-26.13	103.24	-142.32
Esfuerzo abajo cortante(psi)	43.52	-44.64	55.16	-51.17	29.01	-29.22	49.68	-58.44	100.74	-88.99	43.2	-43.97
Esfuerzo de abajo principal 1 (psi)	269.83	-7.34	94.66	-13.71	231.39	-2.85	117.48	-132.42	397.59	-16.57	104.49	-121.8
Esfuerzo de abajo principal 2 (psi)	262.05	-37.44	90.96	-259.94	212.48	-19.57	113.77	-277.67	225.97	-83.45	52.47	-228.85
Esfuerzo de abajo principal de dirección (psi)	84.6	-77.42	86.07	-73.49	90.42	-82.97	110.48	-92.19	117.88	-81.24	108.35	-92.19

**Tabla E.VII.** Esfuerzos en la losa, Jocote Dulce losa corta 6”.

POSICIÓN	Posición Central				Posición Lateral				Posición Esquinera			
GRADIENTE	Gradiente Positivo		Gradiente Negativo		Gradiente Positivo		Gradiente Negativo		Gradiente Positivo		Gradiente Negativo	
COORDENADAS EN NYSLAB	X/Y	2.46/2.46	X/Y	2.46/2.46	X/Y	2.46/1	X/Y	2.46/1	X/Y	4.92/1	X/Y	4.92/1
ESFUERZO Y DEFLEXION	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo
Deflexión vertical (mils)	-0.0004	-0.0087	0.0017	-0.008	-0.0005	-0.0105	0.0017	-0.0092	-0.0005	-0.0104	0.0035	-0.0038
Esfuerzo de arriba de flexión longitudinal (psi)	28.05	-189.9	156.65	-157.41	41.76	-195.28	162.48	-161.68	136.4	-301.77	148.46	-154.69
Esfuerzo de arriba de flexión lateral (psi)	96.96	-202.74	113.22	-165.48	16.25	-212.52	143.95	-159.74	36.08	-199.71	94.06	-144.94
Esfuerzo arriba cortante (psi)	37.3	-48.08	48.29	-32.91	35.03	-26.83	35.07	-29.13	72.25	-73.36	38.89	-43.38
Esfuerzo de arriba principal 1 (psi)	98.4	-188.4	159.45	-153.87	32.45	-186.49	162.68	-152.15	104.01	-173.57	148.42	-113.56
Esfuerzo de arriba principal 2 (psi)	9.58	-223.1	51.55	-165.03	20.84	-213.07	53.15	-162.41	71.59	-315.1	46.95	-167.22
Esfuerzo de arriba principal de dirección (psi)	126.44	-115.62	126.5	-110.38	85.36	-80.19	79.29	-81.94	93.88	-80.5	79.99	84.07
Esfuerzo de abajo de flexión longitudinal (psi)	189.9	-28.05	157.41	-156.65	195.28	-41.76	161.68	-162.48	301.77	-136.4	154.69	-148.26
Esfuerzo de abajo de flexión lateral (psi)	202.74	-96.96	165.48	-113.23	212.52	-16.25	159.74	-143.95	199.71	-37.08	144.94	-94.06
Esfuerzo abajo cortante (psi)	48.08	-37.3	32.91	-48.29	26.83	-35.03	29.13	-35.07	73.36	-72.25	43.38	-38.89
Esfuerzo de abajo principal 1 (psi)	223.1	-9.58	165.48	-51.55	213.07	-20.88	-162.41	-53.15	315.1	-71.59	167.22	-46.65
Esfuerzo de abajo principal 2 (psi)	188.4	-98.4	153.87	-159.45	186.49	-32.45	152.15	-162.68	173.57	-104.01	113.56	-148.42
Esfuerzo de abajo principal de dirección (psi)	126.44	-115.62	126.5	-110.38	85.36	-80.19	79.29	-81.94	93.88	-80.5	79.99	-84.07

Fuente: Elaborado por autores.



**Tabla E.VIII.** Esfuerzos en la losa, Jocote Dulce, losa corta 5”.

POSICIÓN	Posición Central				Posición Lateral				Posición Esquinera			
GRADIENTE	Gradiente Positivo		Gradiente Negativo		Gradiente Positivo		Gradiente Negativo		Gradiente Positivo		Gradiente Negativo	
COORDENADAS EN NYSLAB	X/Y	2.46/2.46	X/Y	2.46/2.46	X/Y	2.46/1	X/Y	2.46/1	X/Y	4.92/1	X/Y	4.92/1
ESFUERZO Y DEFLEXION	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo
Deflexión vertical (mils)	-0.0001	-0.0085	0.0021	-0.0092	-0.0003	-0.0101	0.0021	-0.0102	-0.0003	-0.0106	0.0049	-0.0096
Esfuerzo de arriba de flexión longitudinal (psi)	32.31	-262.36	205.22	-214.24	43.67	-264.45	209.45	-219.77	163.67	-392.79	153.37	-231.23
Esfuerzo de arriba de flexión lateral (psi)	122.78	-280.89	157.44	-227.51	34.03	-283.83	192.85	-219.21	47.33	-268.61	134.1	-200.41
Esfuerzo arriba cortante (psi)	50.68	-69	65.5	-46.01	45.07	-38.6	49.35	-40.28	94.11	-100.85	57.52	-64.28
Esfuerzo de arriba principal 1 (psi)	16.49	-261.48	209.9	-211.3	34.58	-254.65	209.66	-208.71	125.7	-223.78	153.55	-158.11
Esfuerzo de arriba principal 2 (psi)	13.81	-305.16	64.1	-226.84	21.7	-284.21	64.41	-220.4	86.32	-408.17	55.12	-244.79
Esfuerzo de arriba principal de dirección (psi)	125.15	-108.31	124.92	-119.66	80.84	-80.03	81.72	-78.48	82.31	78.49	77.89	-97.94
Esfuerzo de abajo de flexión longitudinal (psi)	262.36	-32.31	214.24	-205.22	264.45	-43.67	219.77	-209.45	392.79	-163.67	231.33	-153.37
Esfuerzo de abajo de flexión lateral (psi)	280.89	-122.88	227.51	-157.44	283.83	-34.03	219.21	-192.85	268.6	-47.33	200.41	-134.1
Esfuerzo abajo cortante (psi)	69	-50.68	46.01	-65.5	38.6	-45.07	40.28	-49.35	100.85	-94.11	64.28	-57.52
Esfuerzo de abajo principal 1 (psi)	305.16	-13.81	226.84	-64.1	284.21	-21.7	220.39	-64.41	408.17	-86.32	244.79	-55.12
Esfuerzo de abajo principal 2 (psi)	261.48	-126.49	211.3	-209.9	254.65	-34.58	208.71	-209.66	223.78	-125.7	158.11	-153.55
Esfuerzo de abajo principal de dirección (psi)	125.15	-108.31	124.92	-119.66	80.84	-80.03	81.72	-78.45	82.31	-78.49	77.89	-97.94

Fuente: elaborado por autores.

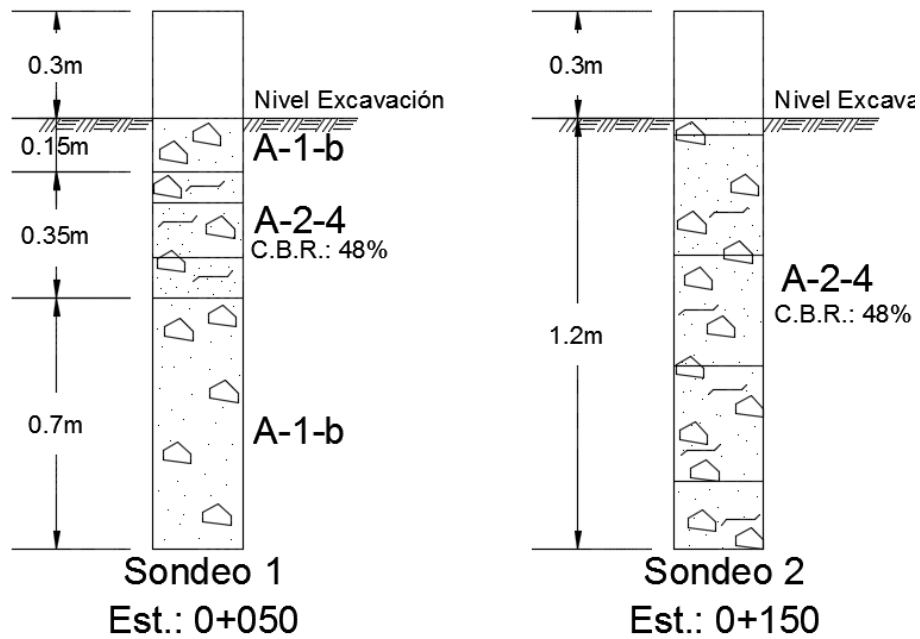
**Tabla E.IX.** Esfuerzos en la losa, Memorial Sandino (tramo N-S y E-O), Hialeah II y III, espesor 6”.

TRAMO	Memorial Sandino (E-O)		Memorial Sandino (N-S)		Hialeah II		Hialeah III	
POSICIÓN	Posición Esquinera		Posición Esquinera		Posición Esquinera		Posición Esquinera	
GRADIENTE	Gradiente Positivo		Gradiente Positivo		Gradiente Positivo		Gradiente Positivo	
COORDENADAS EN NYSLAB	X/Y	3.28/1	X/Y	5.91/1	X/Y	3.28/1	X/Y	4.59/1
ESFUERZO Y DEFLEXION	Valor Máximo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo
Deflexión vertical (mils)	-0.0001	-0.0053	0.0002	-0.0056	-0.0007	-0.0104	0.0002	-0.0002
Esfuerzo de arriba de flexión longitudinal (psi)	92.66	-274.41	97.94	-286.98	115.46	-315.52	149.37	-313.68
Esfuerzo de arriba de flexión lateral (psi)	28.42	-171.38	25.69	-196.1	36.7	-185.43	41.09	-179.34
Esfuerzo arriba cortante (psi)	64.15	-76.6	72.69	-70.19	75.9	-86.56	72.99	-65.41
Esfuerzo de arriba principal 1 (psi)	75.49	-163.34	78.62	176.74	95.41	178.85	108.03	-166.79
Esfuerzo de arriba principal 2 (psi)	51.49	-276.3	46.92	-296.62	63.3	-316.1	82.42	-312.11
Esfuerzo de arriba principal de dirección (psi)	101.55	-109.29	90.77	-78.52	91	-100.95	91.41	-97.17
Esfuerzo de abajo de flexión longitudinal (psi)	274.41	-92.66	286.98	-97.94	315.52	-115.46	313.68	-149.37
Esfuerzo de abajo de flexión lateral (psi)	171.38	-28.42	196.1	-25.69	185.43	-36.7	179.34	-41.09
Esfuerzo abajo cortante (psi)	76.6	-64.15	70.19	-72.69	86.56	-75.9	65.41	-72.99
Esfuerzo de abajo principal 1 (psi)	276.3	-51.49	296.62	-46.92	316.1	-63.3	312.11	-82.42
Esfuerzo de abajo principal 2 (psi)	163.34	-75.49	176.73	-78.62	178.85	-95.41	166.79	-108.03
Esfuerzo de abajo principal de dirección (psi)	101.55	-109.29	90.77	-78.52	91	-100.95	91.41	-99.17

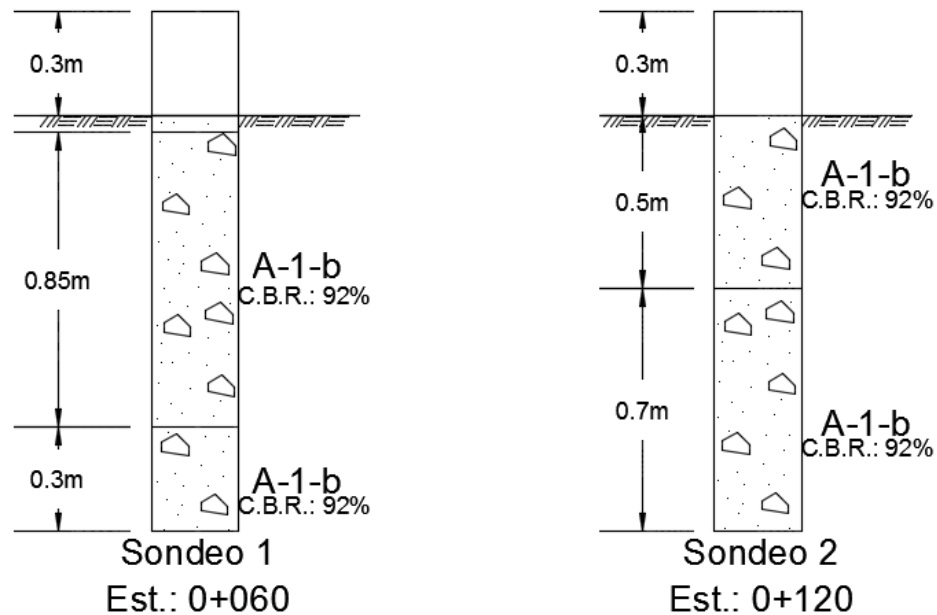
Fuente: elaborado por autores

**FIGURAS**

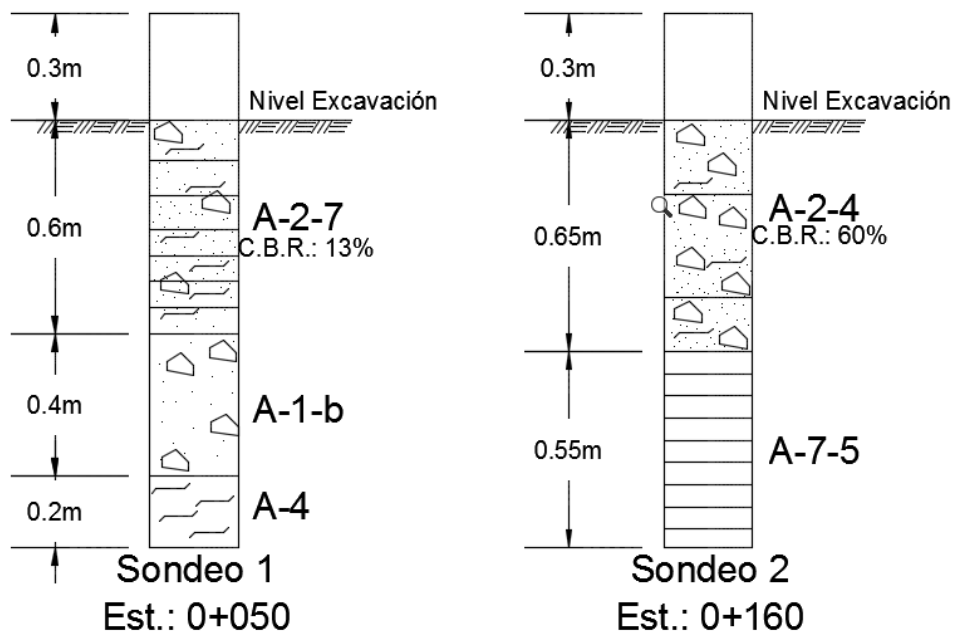
**Figura E.I.** Nivel de excavación para losa y base (Jocote Dulce).



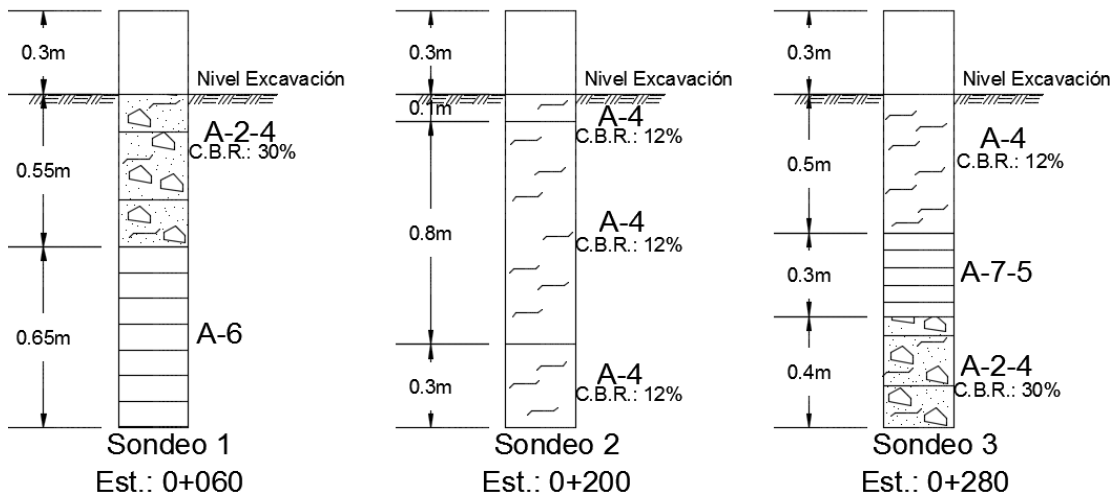
**Figura E.II.** Nivel de excavación para losa y base (Memorial Sandino).



**Figura E.III.** Nivel de excavación para losa y base (Hialeah II).



**Figura E.IV.** Nivel de excavación para losa y base (Hialeah III).



**Figura E.V. Resultados de Diseño de Pavimento Rígido AASHTO 98 (Jocote Dulce).**

**1998 AASHTO Supplement Procedure for Concrete Pavement Thickness Design**

*Whenever you change input values below, first click the button "recalculate seasonally adjusted effective k value" before solving for the **required slab thickness** or **allowable ESALs**.*

recalculate seasonally  
adjusted effective k value

solve for required slab thickness  
for input design ESALs

solve for allowable ESALs  
for input slab thickness

*Enter values for the following parameters in the 1998 AASHTO concrete pavement performance model.*

parameter	symbol	value	units
slab thickness	D	6	in
estimated future ESALs	$W_{18}$	70128.00	ESALs
design reliability	R	80.00	%
overall standard deviation	$S_o$	0.32	
mean 28-day concrete elastic modulus	$E_c$	3604996.53	psi
mean 28-day concrete flexural strength	$S'_c$	632.00	psi
concrete Poisson's ratio	$\mu$	0.15	
base elastic modulus	$E_b$	30000.00	psi
base thickness	$H_b$	6.00	in
slab/base friction coefficient	f	1.40	
k value	k	708.00	psi/in
initial serviceability	$P_1$	4.50	
terminal serviceability	$P_2$	2.00	
joint spacing	L	5.91	ft
edge support adjustment factor	E	1.00	
mean annual temperature	temp	80.24	deg F
mean annual precipitation	precip	47.40	in
mean annual wind speed	wind	6.49	mph

*Values for the following parameters are calculated from the above inputs.*

standard normal deviate	$Z_R$	-0.842		ok
effective positive temperature differential	TD	8.73	deg F	ok
slab length in inches	L	70.92	in	ok
ratio of stress with friction to stress with bond	F	1.12		ok
radius of relative stiffness	l	17.32	in	ok
log of slope of TD effect on stress	log b	-1.409		ok
stress due to load	$\sigma_l$	175.20	psi	ok
total stress due to load and temperature	$\sigma_t$	262.91	psi	ok

*Values for the following parameters are calculated for AASHTO Road Test constants.*

effective positive temperature differential	TD	4.72	deg F	ok
ratio of stress with friction to stress with bond	F	1.12		ok
radius of relative stiffness	l	28.79	in	ok
log of slope of TD effect on stress	log b	-1.464		ok now (had 68 instead of 6)
stress due to load	$\sigma_l$	354.17	psi	ok
total stress due to load and temperature	$\sigma_t$	459.94	psi	ok

*Values for the following parameters are calculated to determine the required slab thickness for the design ESALs.*

allowable log ESALs for 50% reliability, new design	log $W'$	7.08		ok
allowable log W for 50% reliability, AASHTO Road Test	log W	6.08		ok
log rho term	log R	6.12		ok
serviceability loss term	G	-0.08		ok
beta term	B	2.27		ok
allowable ESALs for design reliability, new design	$W'$	6513,797		ok
expected ESALs for design reliability, new design	$W_{18R}$	70,128		ok
ratio of expected to allowable ESALs		0.01		ok

**Figura E.VI. Resultados de Diseño de Pavimento Rígido AASHTO 98 (Memorial Sandino).**

**1998 AASHTO Supplement Procedure for Concrete Pavement Thickness Design**

*Whenever you change input values below, first click the button "recalculate seasonally adjusted effective k value" before solving for the **required slab thickness** or **allowable ESALs**.*

recalculate seasonally  
adjusted effective k value

solve for required slab thickness  
for input design ESALs

solve for allowable ESALs  
for input slab thickness

*Enter values for the following parameters in the 1998 AASHTO concrete pavement performance model.*

parameter	symbol	value	units
slab thickness	D	6	in
estimated future ESALs	W <sub>18</sub>	67131.00	ESALs
design reliability	R	80.00	%
overall standard deviation	S <sub>o</sub>	0.32	
mean 28-day concrete elastic modulus	E <sub>c</sub>	3604996.53	psi
mean 28-day concrete flexural strength	S' <sub>c</sub>	632.46	psi
concrete Poisson's ratio	μ	0.15	
base elastic modulus	E <sub>b</sub>	30000.00	psi
base thickness	H <sub>b</sub>	6.00	in
slab/base friction coefficient	f	1.40	
k value	k	855.00	psi/in
initial serviceability	P <sub>1</sub>	4.50	
terminal serviceability	P <sub>2</sub>	2.00	
joint spacing	L	5.91	ft
edge support adjustment factor	E	1.00	
mean annual temperature	temp	80.24	deg F
mean annual precipitation	precip	47.40	in
mean annual wind speed	wind	6.49	mph

*Values for the following parameters are calculated from the above inputs.*

standard normal deviate	Z <sub>R</sub>	-0.842		ok
effective positive temperature differential	TD	9.50	deg F	ok
slab length in inches	L	70.92	in	ok
ratio of stress with friction to stress with bond	F	1.11		ok
radius of relative stiffness	I	17.70	in	ok
log of slope of TD effect on stress	log b	-1.328		ok
stress due to load	sigma l	153.62	psi	ok
total stress due to load and temperature	sigma t	247.17	psi	ok

*Values for the following parameters are calculated for AASHTO Road Test constants.*

effective positive temperature differential	TD	5.54	deg F	ok
ratio of stress with friction to stress with bond	F	1.11		ok
radius of relative stiffness	I	30.85	in	ok
log of slope of TD effect on stress	log b	-1.450		ok now (had 68 instead of 6)
stress due to load	sigma l	314.77	psi	ok
total stress due to load and temperature	sigma t	418.13	psi	ok

*Values for the following parameters are calculated to determine the required slab thickness for the design ESALs.*

allowable log ESALs for 50% reliability, new design	log W'	7.25		ok
allowable log W for 50% reliability, AASHTO Road Test	log W	6.32		ok
log rho term	log R	6.37		ok
serviceability loss term	G	-0.08		ok
beta term	B	1.65		ok
allowable ESALs for design reliability, new design	W'	9634,274		ok
expected ESALs for design reliability, new design	W <sub>18R</sub>	67,131		ok
ratio of expected to allowable ESALs		0.01		ok

**Figura E.VII. Resultados de Diseño de Pavimento Rígido AASHTO 98 (Hialeah II).**

**1998 AASHTO Supplement Procedure for Concrete Pavement Thickness Design**

Whenever you change input values below, first click the button "recalculate seasonally adjusted effective k value" before solving for the **required slab thickness** or **allowable ESALs**.

recalculate seasonally  
adjusted effective k value

solve for required slab thickness  
for input design ESALs

solve for allowable ESALs  
for input slab thickness

Enter values for the following parameters in the 1998 AASHTO concrete pavement performance model.

parameter	symbol	value	units
slab thickness	D	6	in
estimated future ESALs	W <sub>18</sub>	22,933	ESALs
design reliability	R	80	%
overall standard deviation	S <sub>o</sub>	0.32	
mean 28-day concrete elastic modulus	E <sub>c</sub>	3604,997	psi
mean 28-day concrete flexural strength	S' <sub>c</sub>	632	psi
concrete Poisson's ratio	μ	0.15	
base elastic modulus	E <sub>b</sub>	30,000	psi
base thickness	H <sub>b</sub>	6	in
slab/base friction coefficient	f	1.4	
k value	k	704	psi/in
initial serviceability	P <sub>1</sub>	4.5	
terminal serviceability	P <sub>2</sub>	2.0	
joint spacing	L	6	ft
edge support adjustment factor	E	1.00	
mean annual temperature	temp	80.24	deg F
mean annual precipitation	precip	47.40	in
mean annual wind speed	wind	6.49	mph

Values for the following parameters are calculated from the above inputs.

standard normal deviate	Z <sub>R</sub>	-0.842		ok
effective positive temperature differential	TD	8.63	deg F	ok
slab length in inches	L	70.92	in	ok
ratio of stress with friction to stress with bond	F	1.12		ok
radius of relative stiffness	I	17.21	in	ok
log of slope of TD effect on stress	log b	-1.416		ok
stress due to load	sigma l	176.33	psi	ok
total stress due to load and temperature	sigma t	262.91	psi	ok

Values for the following parameters are calculated for AASHO Road Test constants.

effective positive temperature differential	TD	4.62	deg F	ok
ratio of stress with friction to stress with bond	F	1.12		ok
radius of relative stiffness	I	28.56	in	ok
log of slope of TD effect on stress	log b	-1.466		ok now (had 68 instead of 6)
stress due to load	sigma l	358.96	psi	ok
total stress due to load and temperature	sigma t	464.83	psi	ok

Values for the following parameters are calculated to determine the required slab thickness for the design ESALs.

allowable log ESALs for 50% reliability, new design	log W'	7.08		ok
allowable log W for 50% reliability, AASHO Road Test	log W	6.05		ok
log rho term	log R	6.09		ok
serviceability loss term	G	-0.08		ok
beta term	B	2.37		ok
allowable ESALs for design reliability, new design	W'	6456,038		ok
expected ESALs for design reliability, new design	W <sub>18R</sub>	22,933		ok
ratio of expected to allowable ESALs		0.00		ok

**Figura E.VIII. Resultados de Diseño de Pavimento Rígido AASHTO 98 (Hialeah III).**

**1998 AASHTO Supplement Procedure for Concrete Pavement Thickness Design**

*Whenever you change input values below, first click the button "recalculate seasonally adjusted effective k value" before solving for the **required slab thickness** or **allowable ESALs**.*

recalculate seasonally  
adjusted effective k value

solve for required slab thickness  
for input design ESALs

solve for allowable ESALs  
for input slab thickness

*Enter values for the following parameters in the 1998 AASHTO concrete pavement performance model.*

parameter	symbol	value	units
slab thickness	D	6	in
estimated future ESALs	W <sub>18</sub>	32745.00	ESALs
design reliability	R	80.00	%
overall standard deviation	S <sub>o</sub>	0.32	
mean 28-day concrete elastic modulus	E <sub>c</sub>	3604996.53	psi
mean 28-day concrete flexural strength	S' <sub>c</sub>	632.46	psi
concrete Poisson's ratio	μ	0.15	
base elastic modulus	E <sub>b</sub>	30000.00	psi
base thickness	H <sub>b</sub>	6.00	in
slab/base friction coefficient	f	1.40	
k value	k	685.00	psi/in
initial serviceability	P <sub>1</sub>	4.50	
terminal serviceability	P <sub>2</sub>	2.00	
joint spacing	L	5.91	ft
edge support adjustment factor	E	1.00	
mean annual temperature	temp	80.24	deg F
mean annual precipitation	precip	47.40	in
mean annual wind speed	wind	6.49	mph

*Values for the following parameters are calculated from the above inputs.*

standard normal deviate	Z <sub>R</sub>	-0.842		ok
effective positive temperature differential	TD	8.43	deg F	ok
slab length in inches	L	70.92	in	ok
ratio of stress with friction to stress with bond	F	1.12		ok
radius of relative stiffness	I	17.04	in	ok
log of slope of TD effect on stress	log b	-1.433		ok
stress due to load	sigma l	180.06	psi	ok
total stress due to load and temperature	sigma t	264.82	psi	ok

*Values for the following parameters are calculated for AASHO Road Test constants.*

effective positive temperature differential	TD	4.41	deg F	ok
ratio of stress with friction to stress with bond	F	1.12		ok
radius of relative stiffness	I	28.10	in	ok
log of slope of TD effect on stress	log b	-1.470		ok now (had 68 instead of 6)
stress due to load	sigma l	368.82	psi	ok
total stress due to load and temperature	sigma t	474.76	psi	ok

*Values for the following parameters are calculated to determine the required slab thickness for the design ESALs.*

allowable log ESALs for 50% reliability, new design	log W'	7.05		ok
allowable log W for 50% reliability, AASHO Road Test	log W	6.00		ok
log rho term	log R	6.03		ok
serviceability loss term	G	-0.08		ok
beta term	B	2.60		ok
allowable ESALs for design reliability, new design	W'	6066,653		ok
expected ESALs for design reliability, new design	W <sub>18R</sub>	32,745		ok
ratio of expected to allowable ESALs		0.01		ok



Figura E.IX. Pestaña de información de proyecto.

NY-Slab - Version 2.2 ULCE\jocote dulce AASHTO.nys

File Units About Window Report

Information Material Slab Joint Load Analysis

Project Information

Location: Managua, Distrito I

Project ID: Jocote Dulce

Date: 15/11/2015

Site Identification

Station / Milepost Format: Miles: 0.000

Station / Milepost Begin:

Station / Milepost End:

Traffic Direction: North Bound

Figura E.X. Pestaña Material.

NY-Slab - Version 2.2 ULCE\jocote dulce AASHTO.nys

File Units About Window Report

Information Material Slab Joint Load Analysis

Layers

Total number of Layers: 3

Layer	Material	Label	Thickness (in.)	Foundation Type	Mod. of SG. Reaction (pci)	Shear Coeff. (kip/in)	Lower Spring Stiffness (psi)	Young's Modulus (ksi)	Poisson's Ratio	Unit Weight (pcf)	Thermal Expansion Coeff. (10 <sup>-6</sup> )	Slab Bonding
	PCC	Pavimento	6					3605	0.15	150	5	<input type="checkbox"/> Fully Bonded
	A-1-a Granular Base	Base	6	Winkler	708							
	A-2-4	Subrasan		Winkler	708							

Temperature Profile

Linear ☒ NonLinear ☐

Reference Temperature (°F): 80.2

Depth (in.)	Temp. (°F)
P1 0	80.2
P2 1.5	77.6999
P3 4.5	72.6999
P4 6	75.2

Figura E.XI. Pestaña Losa.

NY-Slab - Version 2.2 ULCEjocote dulce AASHTO.nys

File Units About Window Report

Information Material Slab Joint Load Analysis

Properties

**Number of Slabs**

Longitudinal 5

Lateral 2

**Slab Dimensions**

Length (ft) 9.84

Width (ft) 9.84

Irregularities

Are there irregularities in the support layers?

Yes No

What layer is the irregularity located?

Select Layer...

Select Irregularity Type

Void Add Save

Anomaly Add Save

Remove Irregularity

Irregularity Properties

**Void**

Gap (in) 1.0

**Anomaly**

Mod. of SG Reaction (pci) 200

Shear Coeff. (lbs/in) 3

Poisson's Ratio 0.30

Unit Weight (pcf) 130

Lower Spring Stiffness (psi) 200

Young's Modulus (ksi) 500

Thermal Expansion Coeff. (10x10<sup>-6</sup>) 5

Width (ft)

Length (ft)

Select a slab to change longitudinal and/or transversal dimensions.

Figura E.XII. Pestaña juntas.

NY-Slab - Version 2.2 ULCEjocote dulce AASHTO.nys

File Units About Window Report

Information Material Slab Joint Load Analysis

Properties

Transverse Joints

Longitudinal Joints

Interlock

Tie Bar

Select all joints

Interlock stiffness (lbs/in.<sup>2</sup>) 60000

Elastic modulus of dowels (ksi) 29000

Poisson's ratio of dowel 0.3

Interaction modulus (ksi) 15000

Total length of tie bar in concrete (in.) 36

Joint opening on X 0.3

Type of tie bar Circular

Diameter (in.) 1.5

Inside diameter (in.) 0

Update Properties

Tie bar spacing

Delete Tie bar

Spacing(n.): 12.00

No. of Tie bars: 0

Click on update properties to save...

Figura E.XIII. Pestaña cargas.

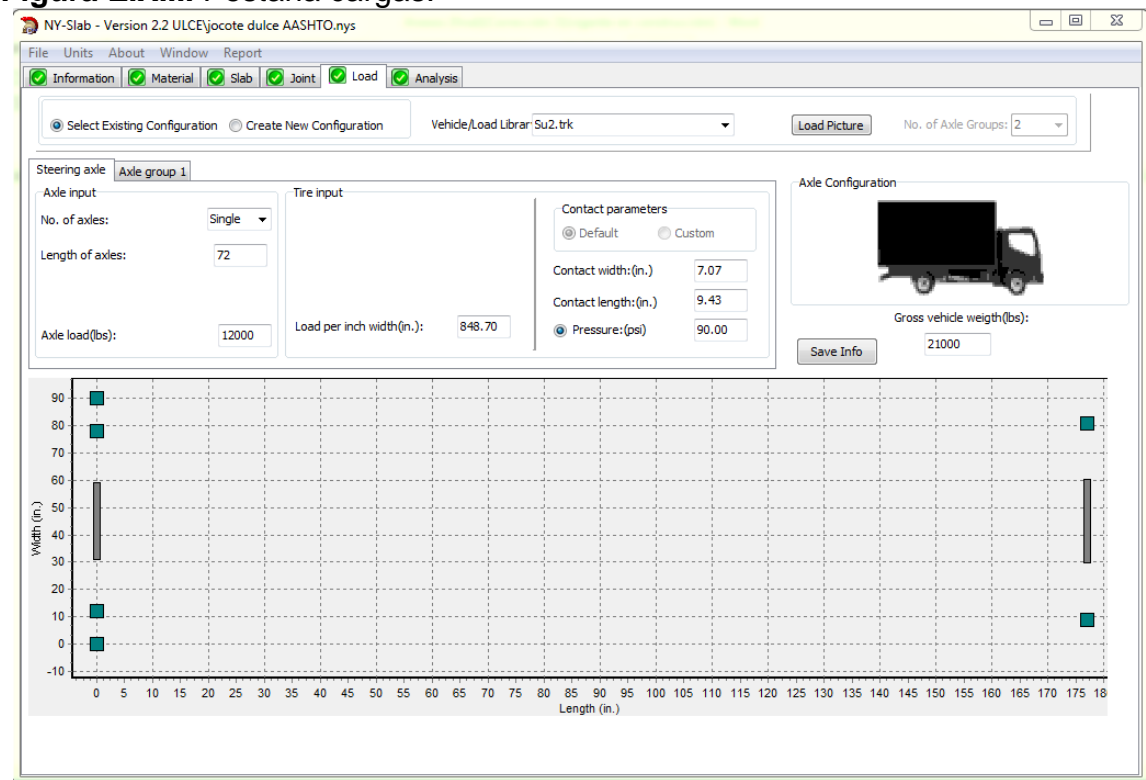
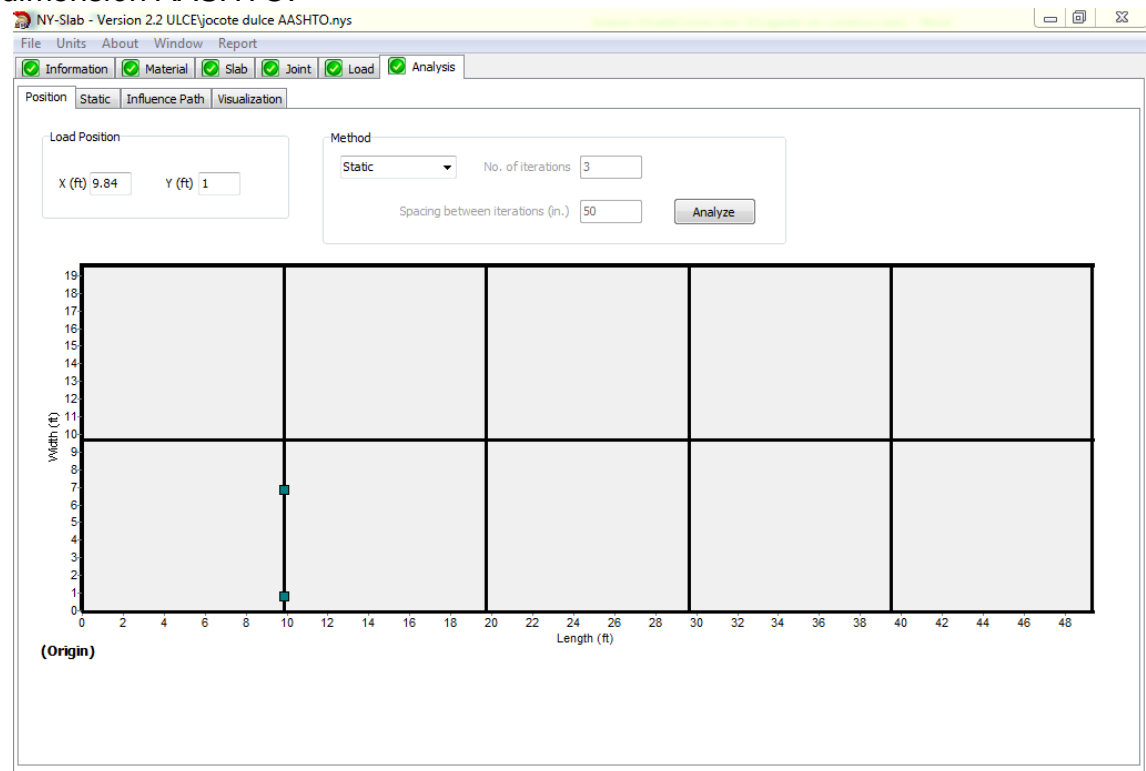
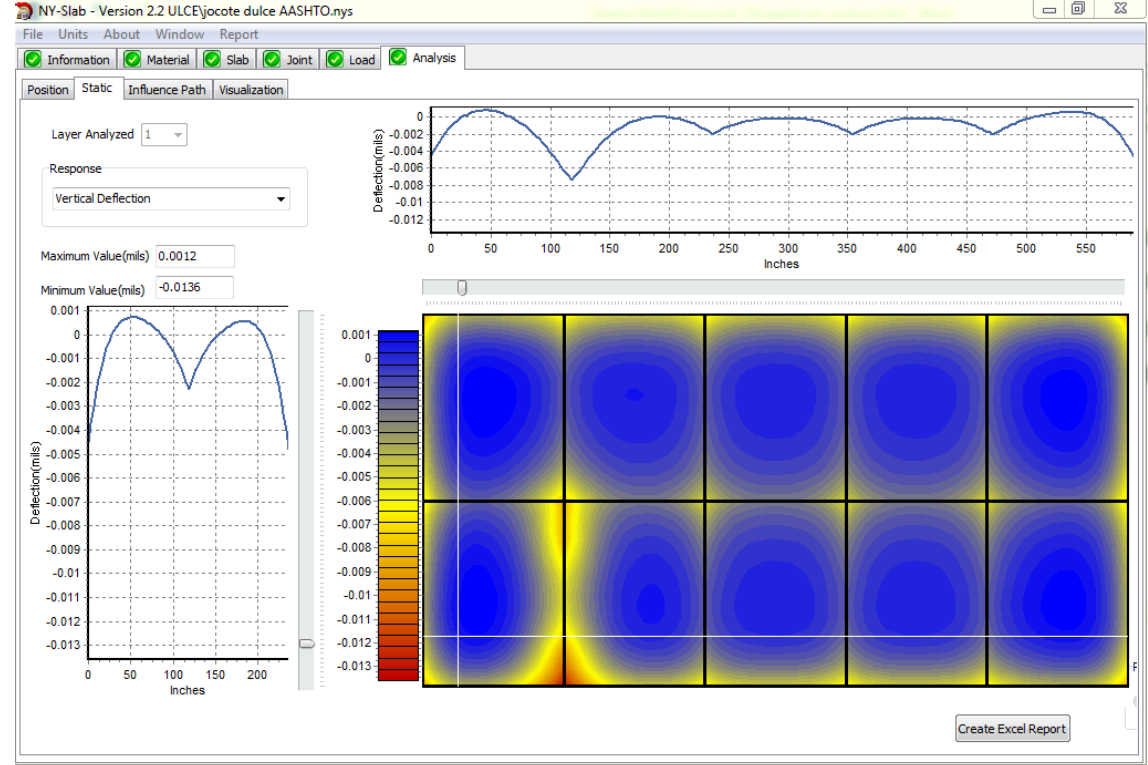


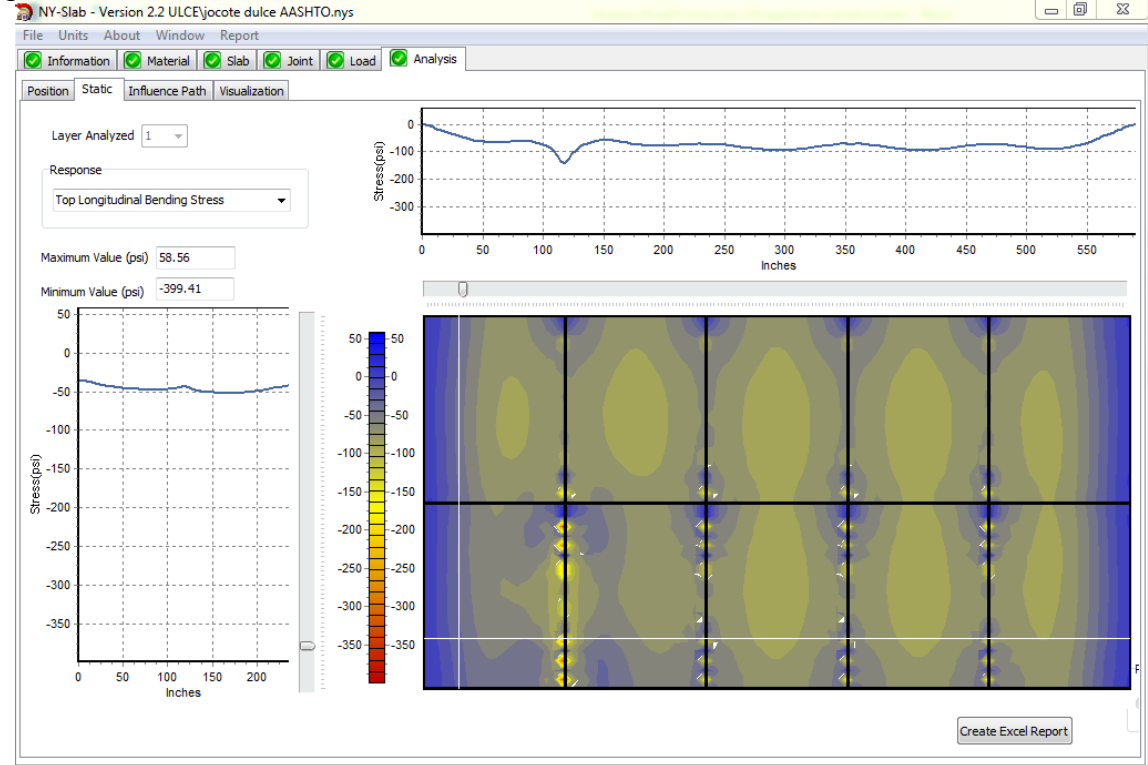
Figura E.XIV. Pestaña de análisis, posición esquina de losa, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.



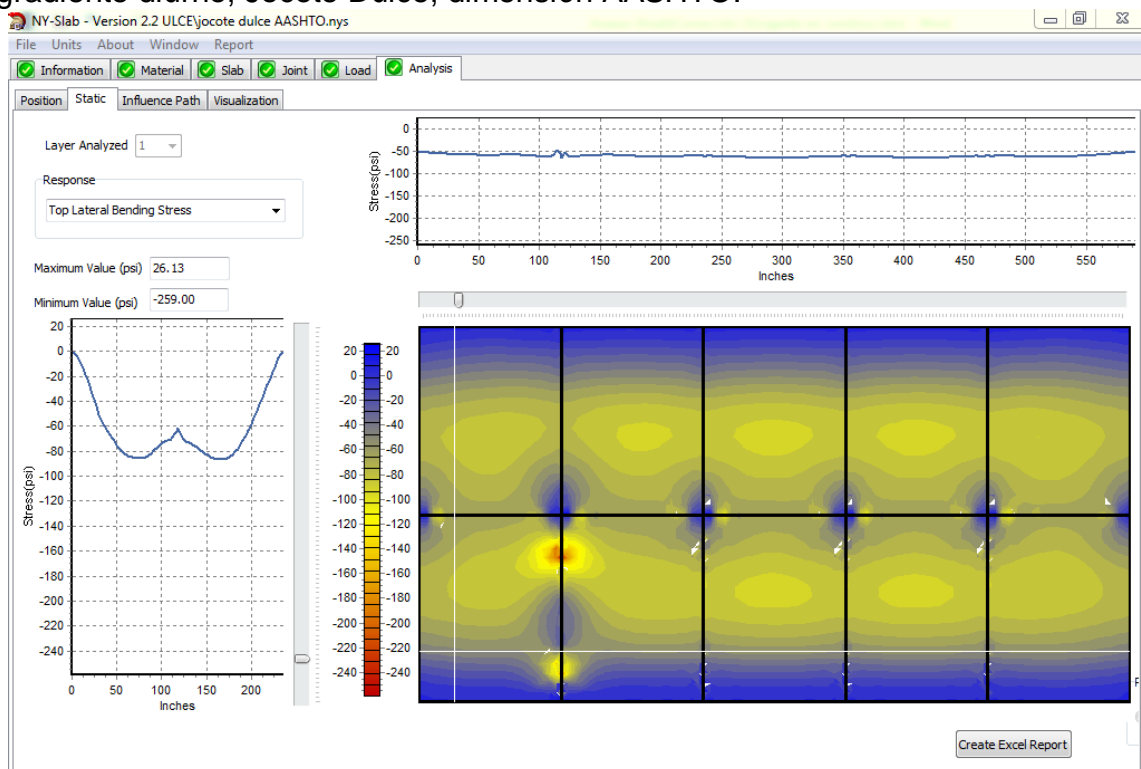
**Figura E.XV.** Deflexión Vertical en milésimas de pulgadas (mils), esquina de la losa, gradiente diurno, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.



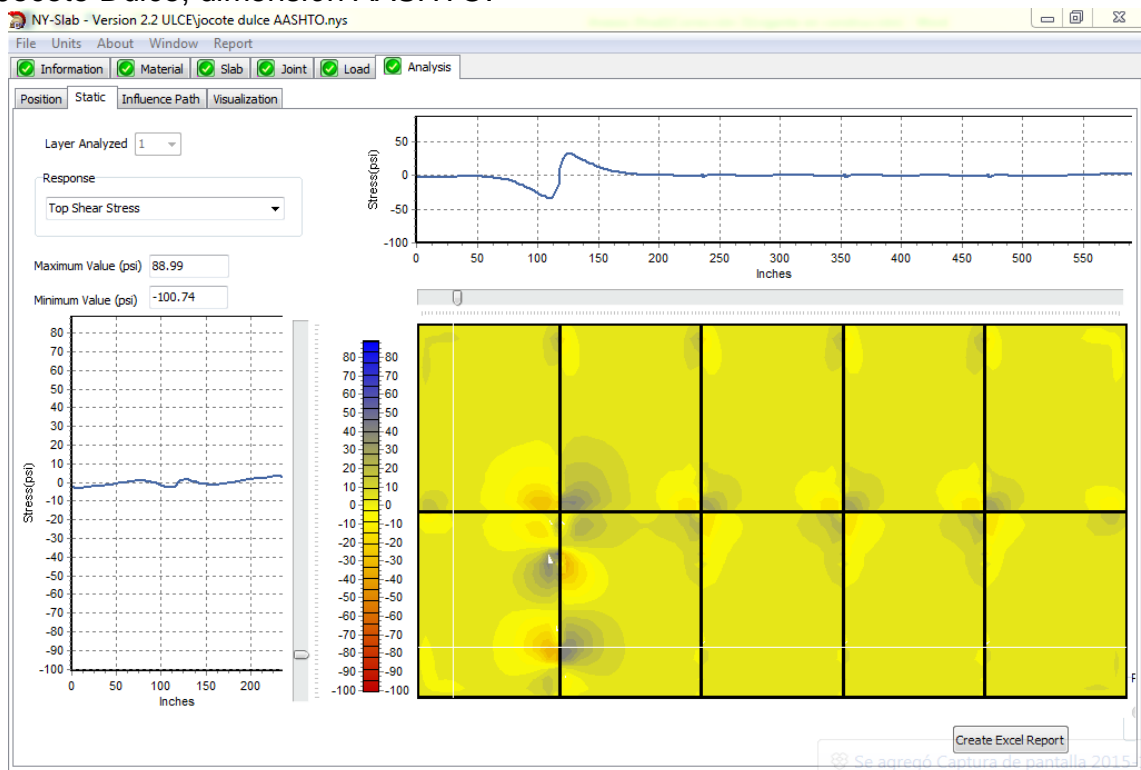
**Figura E.XVI.** Esfuerzo de arriba de flexión longitudinal (PSI), esquina de la losa, gradiente diurno, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.



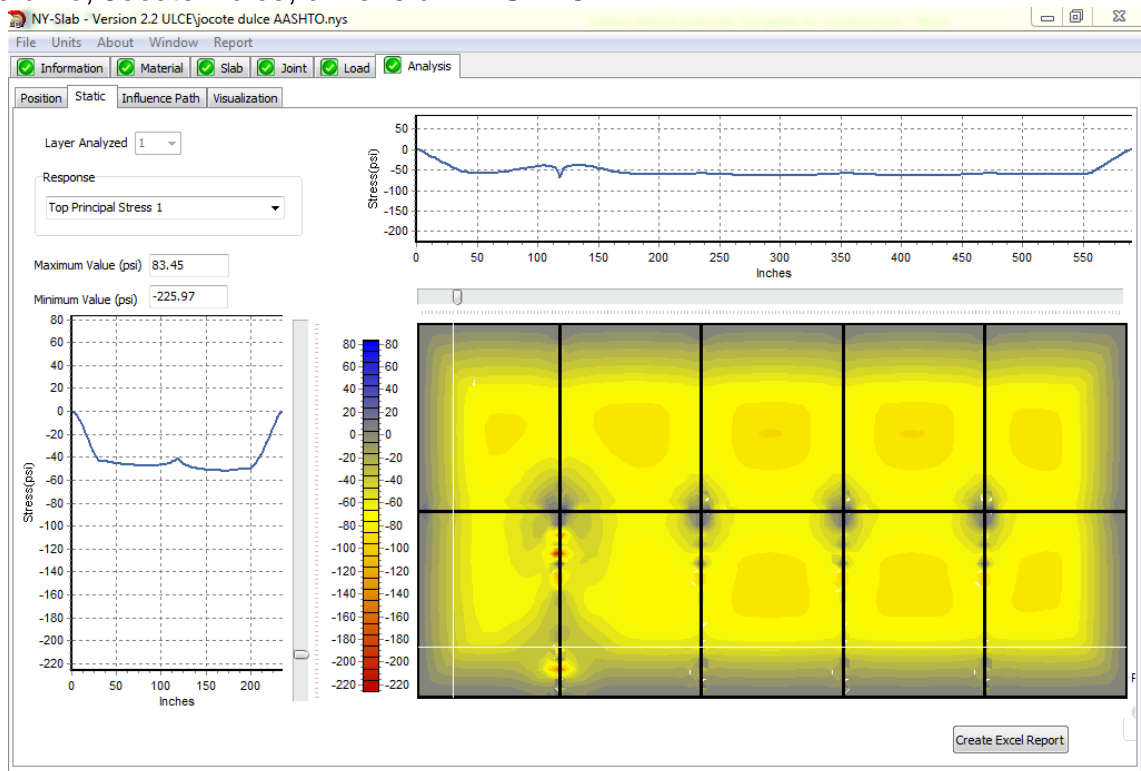
**Figura E.XVII.** Esfuerzo de arriba de flexión lateral (PSI), esquina de la losa, gradiente diurno, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.



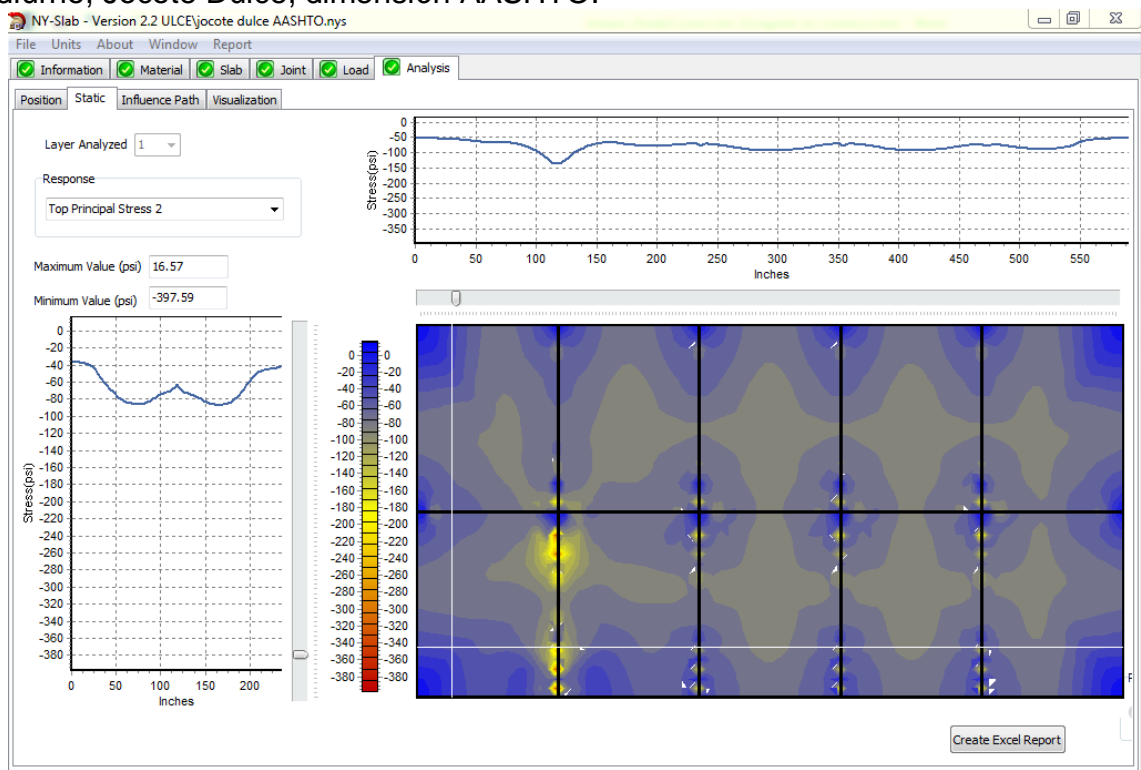
**Figura E.XVIII.** Esfuerzo arriba cortante (PSI), esquina de la losa, gradiente diurno, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.



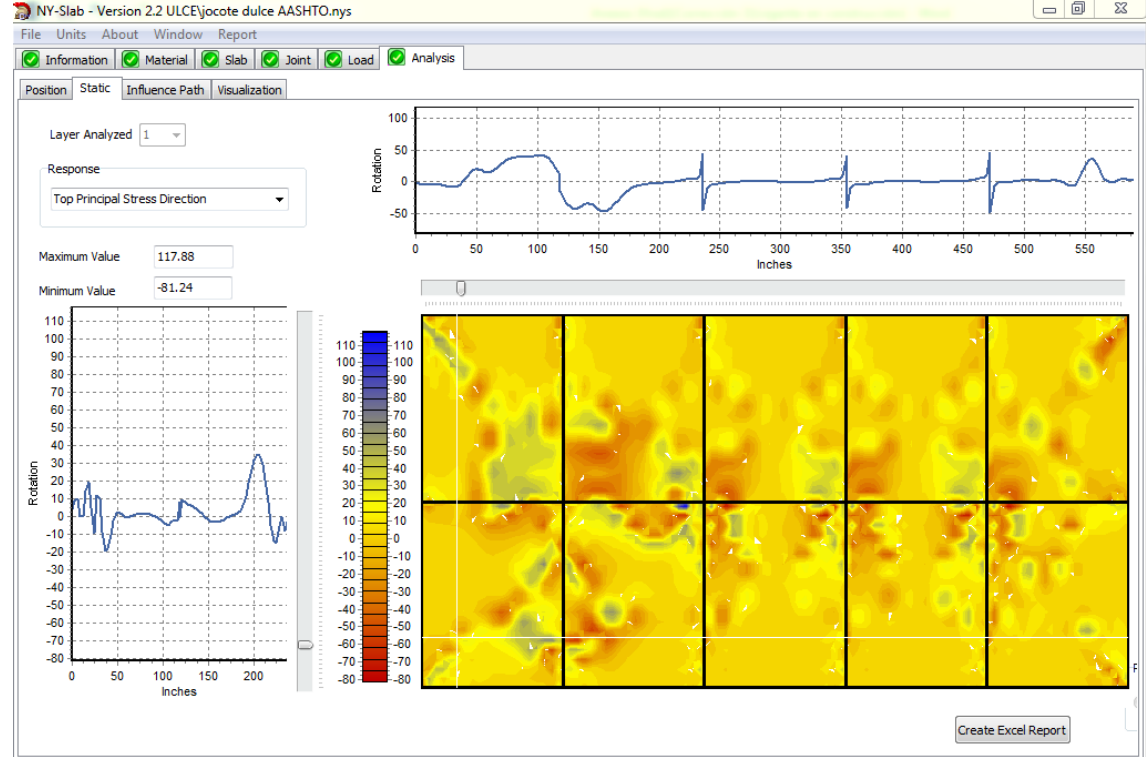
**Figura E.XIX.** Esfuerzo de arriba principal 1 (PSI), esquina de la losa, gradiente diurno, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.



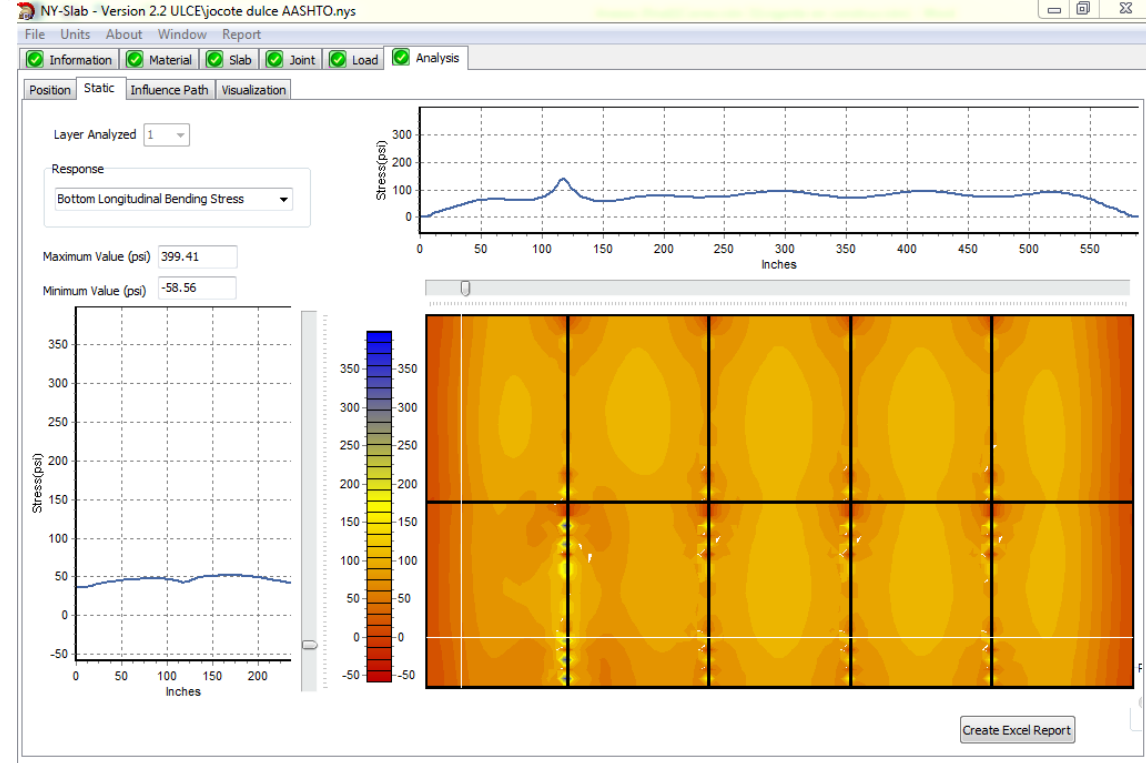
**Figura E.XX.** Esfuerzo de arriba principal 2 (PSI), esquina de la losa, gradiente diurno, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.



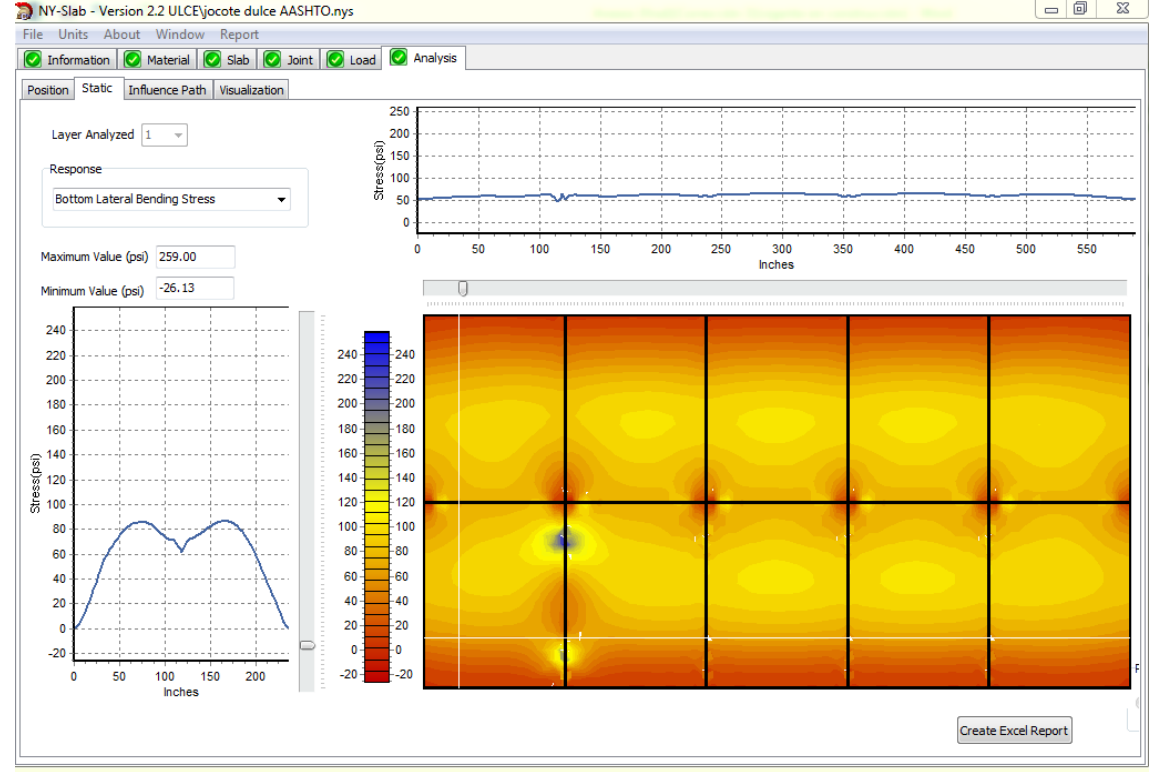
**Figura E.XXI.** Esfuerzo de arriba principal de dirección (PSI), esquina de la losa, gradiente diurno, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.



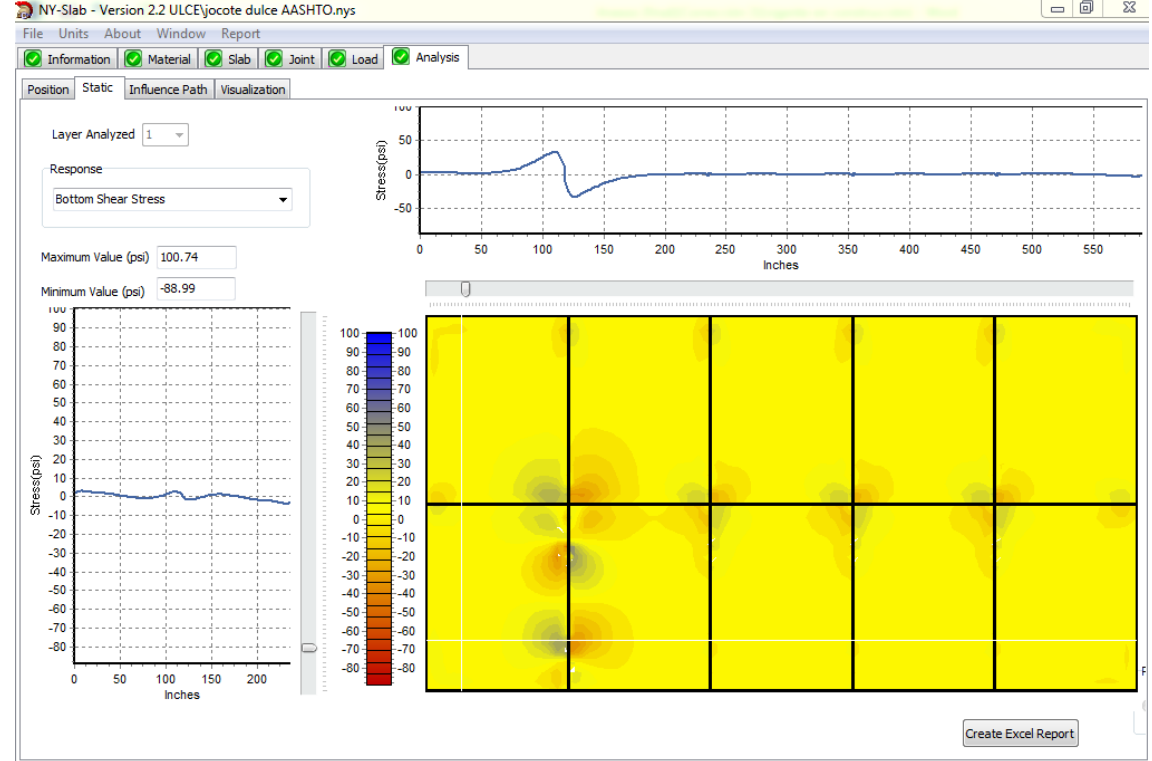
**Figura E.XXII.** Esfuerzo de abajo de flexión longitudinal (PSI), esquina de la losa, gradiente diurno, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.



**Figura E.XXIII.** Esfuerzo de abajo de flexión lateral (PSI), esquina de la losa, gradiente diurno, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.

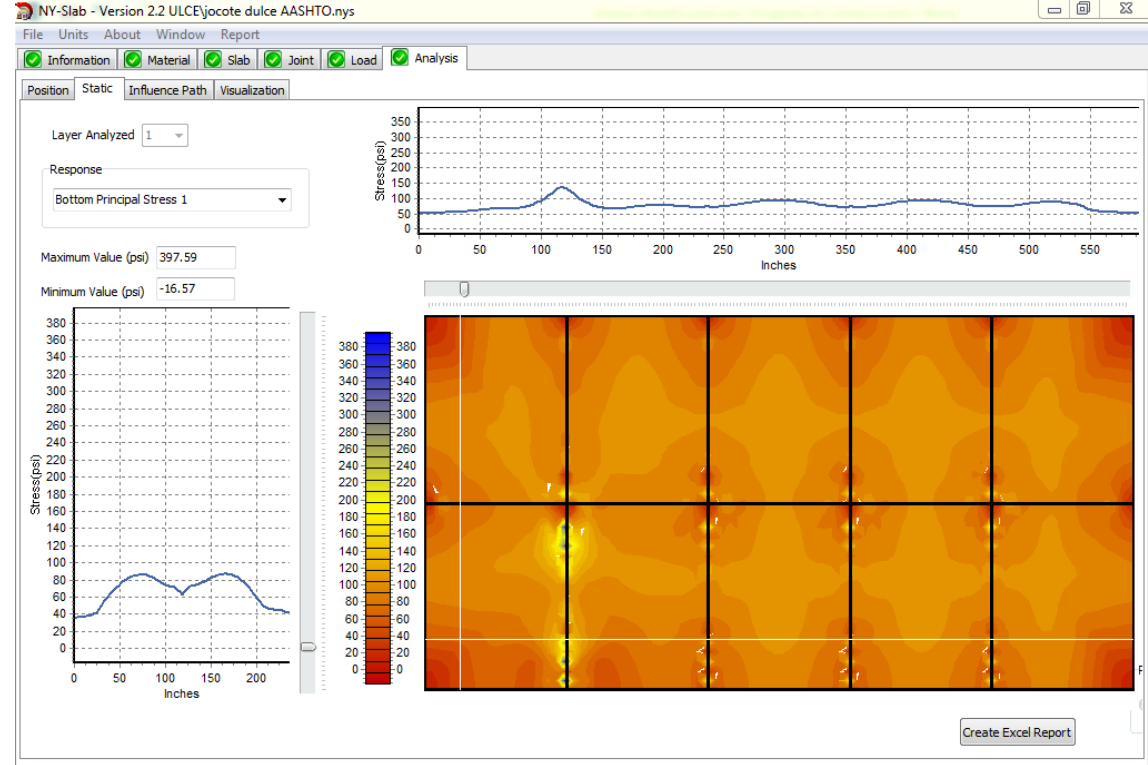


**Figura E.XXIV.** Esfuerzo de abajo cortante (PSI), esquina de la losa, gradiente diurno, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.

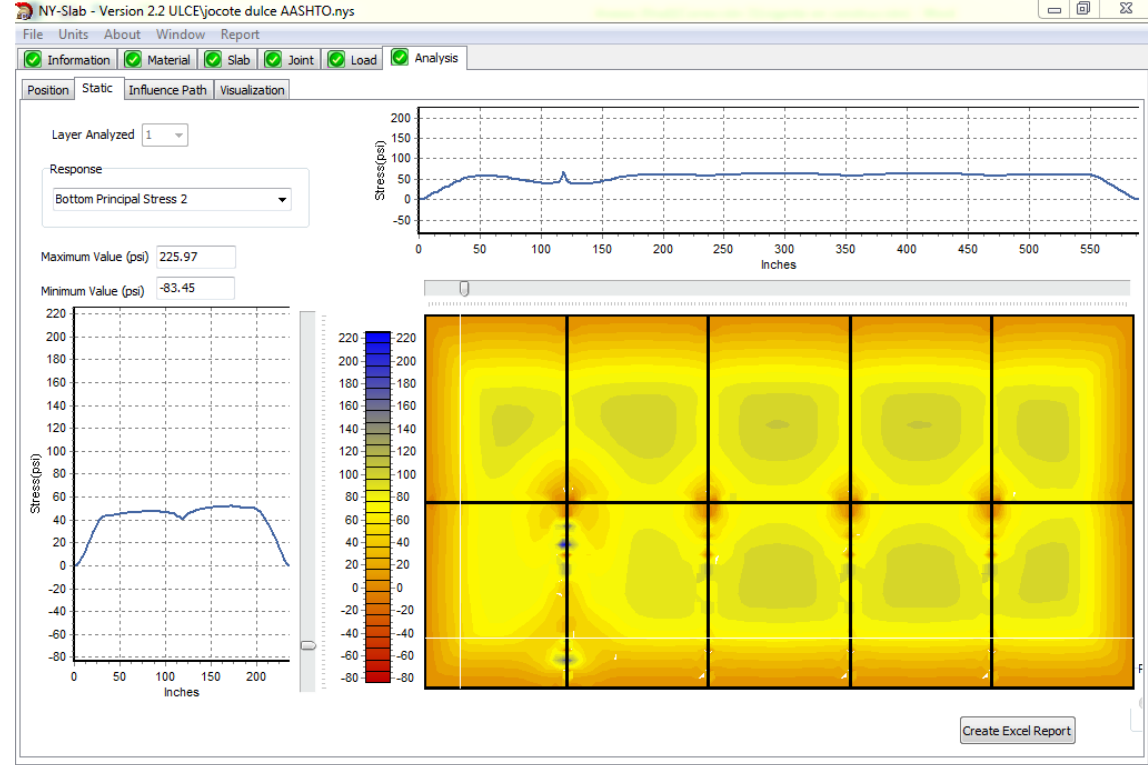




**Figura E.XXV.** Esfuerzo de abajo principal 1 (PSI), esquina de la losa, gradiente diurno, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.



**Figura E.XXVI.** Esfuerzo de abajo principal 2 (PSI), esquina de la losa, gradiente diurno, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.



**Figura E.XXVII.** Esfuerzo de abajo principal de dirección (PSI), esquina de la losa, gradiente diurno, Jocote Dulce, dimensión AASHTO.

